


No. 3963.79
THE TRUSTEES OF THE
PUBLIC LIBRARY
LUX
OMNIUM
CIVIUM
OF THE CITY OF
BOSTON
1852 1878

Die

Elektrische Beleuchtung

mit

besonderer Berücksichtigung der in den
Vereinigten Staaten Nord-Amerikas zu Central-Anlagen vorwiegend
verwendeten Systeme.

Im Auftrage des

Magistrats der Kgl. Haupt- und Residenzstadt Berlin

herausgegeben

von

Dr. Ernst Hagen,
ao. Professor für angewandte Physik am K. Polytechnikum in Dresden.

Mit 93 in den Text gedruckten Holzschnitten und 2 Tafeln.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1885.

etc., etc.) erst hervorgegangen sind, wie auch besonders aus dem Grunde, weil das durch sie gelieferte Licht ohne Zweifel einen weit höheren Grad der Ruhe und Stetigkeit besitzt, als dies bei den Lampen irgend eines der amerikanischen Systeme der Fall ist. —

Die sich vielfach aufdrängenden Vergleiche der elektrischen Glühlicht- und Bogenlicht-Beleuchtung mit einander und mit derjenigen durch Leuchtgas hofft der Verfasser in unparteiischer, sachgemässer Weise durchgeführt zu haben.

Möge das Buch sich und seinem Verfasser Freunde erwerben!

E. H.

Inhaltsverzeichniss.

Einleitung.

Wirkungen der Leuchtgasverbrennung.

Erster Abschnitt.

I. Physikalische Vorbegriffe.

II. Die Dynamo-Maschinen, ihre Construction etc.

Zweiter Abschnitt.

Elektrische Glühlichtbeleuchtung.

Capitel I. *System Edison.*

I. Stationsanlagen.

II. Edison'sche Einzelanlagen.

Capitel II. *Glühlicht-Systeme anderer Companieen.*

Capitel III. *Messungen an Glühlampen.*

Capitel IV. *Kosten der Edison'schen elektrischen Glühlicht-Beleuchtung.*

Capitel V. *Theorie der Glühlicht-Beleuchtung.*

Capitel VI. *Die Accumulatoren.*

Dritter Abschnitt.

Die elektrische Bogenlicht-Beleuchtung.

Capitel I. *Der Volta'sche Lichtbogen und die Lampen für einzelnes und für getheiltes Licht.*

Einleitung.

§ I. Vergleich zwischen elektrischer und Gas-Beleuchtung im Allgemeinen.

Wenn wir heutzutage mit Freude und Stolz auf das im Vergleich zu früheren Zeiten so rasche Aufblühen unserer Industrie und Technik blicken können, so haben wir dies dem Zusammenwirken vieler verschiedener Factoren zu danken, vor Allem dem Umstande, dass die Neuzeit es verstanden hat, die Entdeckungen wissenschaftlicher Forschungen praktisch zu verwerthen und eine Reihe von Naturkräften sich dienstbar zu machen und zu deren Ausnutzung Maschinen zu ersinnen, welche nicht nur die mühselige Arbeit von hunderten und tausenden von Händen mit einer früher unerreichbaren Genauigkeit ausführen, sondern auch diese Arbeit in vielleicht jetzt nur ebensoviel Tagen vollenden, als früher Monate oder Jahre dazu erforderlich waren.

Aber die Möglichkeit einer so schnellen Production technischer Erzeugnisse, wie sie eben unsere raschlebige Zeit heutzutage erfordert, ja auch die Möglichkeit unserer geistigen Arbeit würde undenkbar sein, wenn nicht die Mittel, die kurzen Tagesstunden unseres Himmelsstriches durch künstliche Beleuchtung zu verlängern, in ähnlicher Weise sich fortentwickelt und vervollkommnet hätten, wie das bei der Industrie selbst der Fall ist. Wie würde unser ganzes Leben überhaupt verändert werden, wenn wir etwa gezwungen würden, zu der mangelhaften Beleuchtung, wie sie unsere Altvordern hatten, zurückzukehren? Schon die blosse Vorstellung einer solchen Möglichkeit erfüllt uns mit Unbehagen. — Bis zu gewissem Grade ist in der That unsere ganze Cultur durch unsere Beleuchtung mitbedingt, und wenn es Jemand unternehmen wollte, eine sachgemässe, ge-

schichtliche Zusammenstellung der in den verschiedenen Jahrhunderten angewendeten Beleuchtungsarten zu geben, so würde er dadurch ein Werk von hohem, culturhistorischen Interesse und einen werthvollen Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Völker, ihres Lebens, ihres Verkehrs und ihrer Industrie liefern.

Bei den vielen verschiedenen, uns gegenwärtig zu Gebote stehenden Beleuchtungsarten und bei den hohen Ansprüchen, die in dieser Hinsicht zu stellen wir uns allmälig gewöhnt haben, können wir es jetzt kaum mehr verstehen, wie man mit den früher üblichen künstlichen Lichtquellen hat auskommen können; und wie gross eigentlich der Fortschritt war, den die Einführung der ersten centralen Beleuchtungsart d. h. des Leuchtgases (1814 in London, 1826/27 in Berlin) mit sich brachte, können wir uns heute schwer vorstellen, wenn wir nicht zufällig einen jener überschwänglich lautenden Berichte in die Hand bekommen, welche in den Zeitungen damaliger Tage über die ersten Gasbeleuchtungen sich finden. Wie bescheiden und dürftig muss da wohl früher beispielsweise die Beleuchtung der Strassen mittelst der altehrwürdigen Oellämpchen gewesen sein, wenn schon die Einführung der doch gewiss für heutige Begriffe recht mangelhaften ersten Gasbeleuchtung auf den Berliner „Linden" zu derartigen Ausbrüchen der Bewunderung Anlass gab, wie z. B. die in Anmerkung 1[1]) angegebenen!

Freilich ist es ja eine sich stets wieder bewahrheitende Thatsache, dass alle Bedürfnisse mit der Möglichkeit, sie zu befriedigen,

---

[1]) So schreibt die Vossische Zeitung vom 21. September 1826:

„Berlin, den 20. September. Gestern Abend sahen wir zum ersten Male die schönste Strasse der Hauptstadt, die zugleich unser angenehmster Spaziergang ist, die Linden, im hellsten Schimmer der Gasbeleuchtung. Eine grosse Menge Neugieriger war durch dieses Schauspiel herbeigelockt worden und alle schienen davon überrascht; denn heller haben wir selbst bei glänzenden Illuminationen die Linden nicht gesehen. Nicht in dürftigen Flämmchen, sondern in handbreiten Strömen schiesst das blendende Licht hervor, das so rein ist, dass man in einer Entfernung von 20—25 Schritten von den grösseren Lampen einen Brief recht gut lesen konnte. Einige Privathäuser haben schon Gebrauch von der neuen Gasbeleuchtung gemacht: vor dem Hôtel de Rome stehen zwei helle Fackelträger, und vor Biermann's Café Royal hängt ein Feuerzeichen, wie auf einem Leuchtthurm, so dass man den Hafen nicht verfehlen kann. Bald werden auch die anderen Hauptstrassen auf gleiche Weise beleuchtet werden, und Berlin, das wegen seines erfreulichen Eindruckes, den es bei Tage macht, berühmt ist, wird auch bei Nachtzeit den Fremden angenehm überraschen."

steigen, eine Erfahrung, die sich vielleicht mit am meisten in den Ansprüchen zeigt, die man früher und jetzt an die Beleuchtung der Strassen stellt. Erscheint es doch in der That fraglich, ob wir nicht gegenwärtig hierin bereits zu weit gehen. Es ist wohl kaum zu leugnen, dass beispielsweise gerade unsere bisherige Berliner Strassenbeleuchtung so ziemlich allen gerechten Ansprüchen genügte, vorausgesetzt, dass nicht etwa das Leben und Treiben auf den Strassen noch in ganz unerwarteter Weise steigt, und es würde demnach jede weitere Vermehrung der Beleuchtung im Grunde nur ein nicht zu rechtfertigender Luxus sein, da doch eigentlich nur gerade so viel Licht gegeben werden sollte, als die Sicherheit und der Verkehr es erfordern. Trotzdem drängt Alles zu immer und immer wachsender Beleuchtung hin und das, was uns früher vielleicht schon als eine verschwenderische Lichtfülle erschien, scheint uns jetzt nur kaum noch den nothwendigsten Bedürfnissen zu entsprechen. Denken wir uns für einen Augenblick statt unserer jetzigen nur die Helligkeit auf den Strassen herrschend, welche die erste Berliner Gasbeleuchtung gewährte, über deren Pracht und Glanz der Schreiber des oben citirten Zeitungsartikels sich nicht begeistert genug aussprechen konnte, so würde momentan aller Verkehr stocken und die Dürftigkeit und Armseligkeit eben dieser Beleuchtung so recht hervortreten.

Ja das Lichtbedürfniss des Publikums ist bereits in einem Maasse gewachsen, dass man vielfach die Meinung vertreten findet, über kurz oder lang würden die Strassen der grösseren Städte nur noch mit elektrischem Bogenlicht beleuchtet werden. Und doch ist gerade hier — bei der Beleuchtung der Strassen — das Gaslicht ohne Zweifel so recht eigentlich an seinem Platze. Alle seine Nachtheile — seine Feuergefährlichkeit, Explodirbarkeit, Anzündegefahr, die grosse durch seine Verbrennung erzeugte Hitze, das Absetzen von Russ, das Auftreten seiner Verbrennungsgase und endlich seine Giftigkeit beim Einathmen und sein unangenehmer Geruch — kommen hier naturgemäss nicht oder kaum in Betracht, während die fast absolute Sicherheit seines Betriebes und die Billigkeit des erzeugten Lichtes die eben erwähnten Nachtheile wohl mehr als aufhebt.

Anders allerdings liegt die Sache, wenn es sich darum handelt, Parkanlagen und öffentliche Gärten u. s. w. zu beleuchten, wo sich

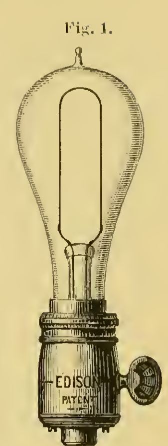
die Giftigkeit des Leuchtgases in der verderblichen Wirkung auf die Pflanzen und Bäume äussert und dessen Gebrauch eigentlich ganz verbieten sollte. Weiss doch ein Jeder, auf wie weite Strecken hin das Erdreich mit Leuchtgas in Folge der stets vorhandenen, mehr oder minder grossen Undichtigkeiten der Leitungsröhren und der grossen Diffundirbarkeit des Gases durchtränkt wird und wie sehr sich dessen Geruch bei dem Aufwerfen des Erdbodens in der Nähe von Gasleitungen bemerklich macht. Und um wie viel mehr erst treten die Nachtheile, welche der Gebrauch des Leuchtgases mit sich bringt, bei der Innenbeleuchtung der Häuser und Gebäude hervor! Wie viele Brände und Explosionen sind durch Offenlassen von Gashähnen oder Brüchen der Gasleitung entstanden, zu welch' unerträglicher Hitze steigert sich bei Anwendung einer einigermassen beträchtlichen Zahl von Flammen die Temperatur geschlossener Räume, z. B. in Theatern, in wie kurzer Zeit werden die Tapeten und Decken der Zimmer durch Absatz feiner Russtheilchen geschwärzt, wie viele Todesfälle sind die Folge des Einathmens ausströmenden Leuchtgases gewesen und wie unangenehm ist dessen Geruch.

§ 2. Unterschied zwischen elektrischem Bogen- und Glühlicht.

Nach alledem ist es klar, dass eine Beleuchtungsart, welche die Vortheile des Gaslichts, vor allem seine Theilbarkeit, besitzt, ohne gleichzeitig dessen Uebelstände nach sich zu ziehen — und diese Bedingungen erfüllt das elektrische Licht — als eine wahre Wohlthat wird empfunden werden müssen. In seinen beiden Formen, dem von Sir Humphry Davy zuerst (1813) dargestellten Bogenlicht und zweitens dem Glühlicht, bei welch' letzterem ein dünner, in luftleer gepumpter Glasglocke eingeschlossener Kohlenfaden vom durchfliessenden Strom zum Glühen erhitzt wird, bietet es uns Lichtquellen, wie sie — jede in ihrer Art — kaum schöner gedacht werden können.

Der wesentliche Unterschied beider Systeme besteht darin, dass wir bei den Glühlichtlampen eine durch feste Leiter (Metalldräthe und Kohlenfaser) vollkommen geschlossene Strombahn haben und dass der Lichteffect hier hervorgebracht wird durch die Temperaturerhöhung, welche der elektrische Strom in der Kohlen-

Fig. 1.



faser der Glühlampe (Fig. 1) erzeugt, ohne diese selbst zu zerstören oder in ihrer Beschaffenheit zu verändern, während bei dem Bogenlicht der elektrische Strom zwischen zwei allmälig abbrennenden, einige Millimeter weit von einander getrennten Kohlenspitzen übergeht. Die Strom-Bahn zwischen den Kohlenenden bildet im letzteren Falle die durch den Uebergang des elektrischen Stromes sich ungemein stark erhitzende Luftschicht mit den in ihr herumfliegenden, losgerissenen kleinen Kohlenpartikelchen. Die nebenstehende Fig. 2 giebt ein Bild der auftretenden Erscheinung; in der Mitte zwischen den Kohlenelektroden ist ein schwach bläulicher Lichtschein bemerkbar, er bildet die eben erwähnte, eigentliche Strombahn in der die Kohlen trennenden Luftschicht, seine bläuliche Farbe verdankt er dem Verdampfen und Verbrennen der besonders von der positiven Kohlenspitze losgerissenen Kohlentheilchen; weiter aussen schliesst sich ein röthlicher Lichtschein (glühende Luftschicht) an, dessen gekrümmte Gestalt — eine Folge des Aufsteigens der erhitzten Luftmassen — der ganzen Lichterscheinung den Namen des elektrischen „Bogenlichtes“ gegeben hat. An den beiden Kohlen selbst macht sich (solange wir es mit gleichgerichteten Strömen zu thun haben) ein sehr wesentlicher Unterschied bemerkbar. Es spitzt sich nämlich die mit dem negativen Pole der Elektricitätsquelle verbundene Kohle allmälig zu, während die positive Kohle sich kraterförmig aushöhlt. Beide Kohlenspitzen erhitzen sich gleichzeitig ausserordentlich hoch, so zwar, dass ihre weissglühend werdenden Enden das eigentlich Lichtgebende des ganzen Kohlenbogens werden. Auch bezüglich des Abbrennens verhalten sich die Kohlen nicht gleich, sondern die positive Kohle verzehrt sich etwa doppelt so rasch als die negative, was ohne Zweifel seinen Grund darin hat, dass ihre Temperatur (5000° C.) etwa um 1000° höher[1]) ist als die der negativen, ein Umstand, der sich ferner auch darin zeigt, dass im Flammenbogen die negative Kohle nur noch in kleiner Entfernung vom Lichtbogen dunkelroth glühend erscheint, während

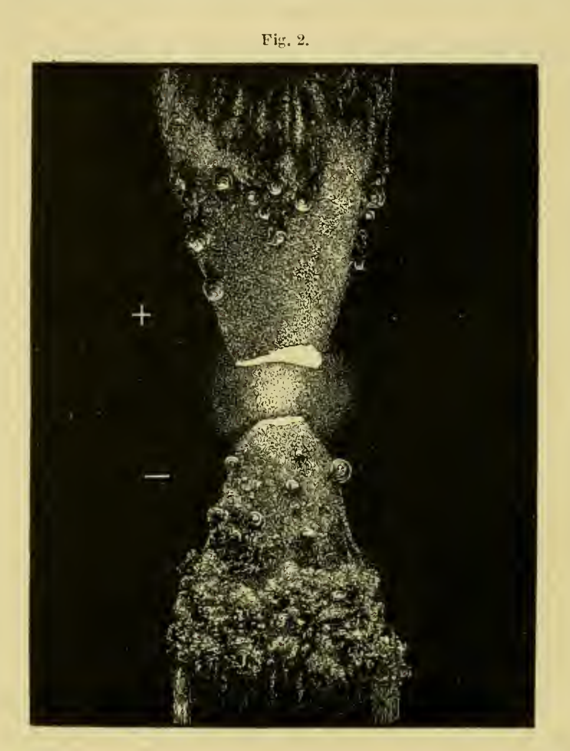
---

[1]) Rosetti, C. R. **89** 781—783, 1879.

die positive Kohle sogar in beträchtlicher Entfernung vom Bogen noch hellroth glüht[2]).

Der höheren Temperatur und der grösseren glühenden Fläche der positiven Kohlenspitze entsprechend ist auch die Menge des von ihr ausgesandten Lichtes erheblich grösser als die der anderen Theile, sie beträgt ungefähr $^{9}/_{10}$ der gesammten ausgesendeten Lichtmenge; aus diesem Grunde und da dann gleichzeitig die kraterförmig sich aushöhlende untere Fläche der positiven Kohle wie ein

Fig. 2.



nach unten gerichteter Reflector wirkt, wird die positive Kohle stets oben, die negative untenstehend in den Lampen angewendet. Der allmäligen Abnutzung der Kohlen entsprechend wird der Zwischenraum zwischen denselben offenbar fortdauernd grösser und grösser werden, so dass es eines steten Nachschiebens der abbrennenden

---

[2]) Schellen, d. magnet. u. dynamoelektr. Maschinen II. Aufl. p. 282. 1882.

Kohlen bedarf, um die Länge des Lichtbogens constant zu erhalten, eine Aufgabe, die zu erreichen grosse Schwierigkeiten hat und die Jahrzehnte hindurch überhaupt nicht in genügender Weise lösbar erschien.

Es folgt daraus, dass jedes Bogenlichtlicht seinen eigenen Lampenmechanismus erfordert, was bei den Glühlampen nicht der Fall ist; weshalb denn auch die Schwierigkeit, eine grössere Anzahl Bogenlichtlampen in einem und demselben Stromkreise gemeinschaftlich von einer Beleuchtungsanlage aus zu betreiben, ungleich viel grösser ist als bei Glühlampen, und in sofern ist die Glühlampenbeleuchtung jedenfalls bedeutend vollkommner als die vermittels der Bogenlichtlampen. Indess hat jedes der beiden elektrischen Beleuchtungssysteme doch auch seine besonderen Vortheile: und zwar eignet sich das Bogenlicht überall da besonders gut, wo es 1) auf grosse Lichtfülle ankommt, also für Beleuchtung von Strassen, grossen Plätzen, Hallen, Bahnhöfen, Leuchtthürmen u. dergl., und 2) wo eine genaue Unterscheidbarkeit von Farbennüancen, wie in vielen Zweigen der Technik, erforderlich ist. Es hat ausserdem die vortheilhafte Eigenschaft, da, wo eine sehr lichtstarke Beleuchtung mittels einzelner grosser Lichter verlangt wird, ein ausserordentlich billiges Licht zu liefern.

Gerade in diesem letzteren Punkte steht ihm das Glühlicht weit nach, besitzt aber dafür den Vortheil fast unbegrenzter Theilbarkeit und ist so recht dazu geeignet, zur Innenbeleuchtung der Gebäude zu dienen, um so mehr, als es ausserdem noch den Vorzug völliger Stetigkeit und wohlthuender Ruhe des ausgestrahlten Lichtes sowohl vor dem Bogen- wie auch vor dem Gaslichte voraus hat, vorausgesetzt allerdings, dass der zum Betriebe der Lichtmaschine verwendete Motor einen gleichmässigen Gang besitzt. Es erzeugt keine merkbare Wärme, brennt vollkommen ruhig und lautlos und seine Vorzüge im Vergleich zur Gas-Beleuchtung sind in der That so gross, dass selbst der höhere Preis des Glühlichtes in Anbetracht seiner wirklich vorzüglichen, sonstigen Eigenschaften die allgemeinere Einführung desselben hoffentlich nicht wird hindern können. In vielen Fällen wird seine Einführung geradezu eine Wohlthat sein, so dass aller Wahrscheinlichkeit nach man sich später wundern wird, dass man so lange die Gasbeleuchtung hat ertragen mögen.

Allerdings wird der hohe Preis des elektrischen Glühlichtes immer ein sehr gewichtiger Gegengrund gegen dessen allgemeine Verwendung bleiben, besonders wenn man ihm die Billigkeit des Leuchtgases gegenüberstellt. Erscheint nun schon der Verkaufspreis des letzteren niedrig im Vergleich zu dem anderer Lichtquellen, so ist dies mit seinem Herstellungspreise noch weit mehr der Fall. Man vergegenwärtige sich eben nur, dass es möglich ist, Leuchtgas zum dritten, event. fünften Theile seines gegenwärtigen Verkaufspreises herzustellen, um die Unmöglichkeit einer vollständigen Verdrängung durch elektrisches Glühlicht einzusehen.

Bis zu gewissem Grade wird letzteres stets eine Luxusbeleuchtung bleiben, indess, wie Sir William Siemens sehr richtig bemerkte, werden es „meist andere Gesichtspunkte als die des Preises sein, welche die Entscheidung über die zu wählende Beleuchtungsart bedingen“. Und in der That stehen den Vortheilen, welche die Leuchtgasverwendung mit sich führt, eine Anzahl, bereits vorher kurz angedeuteter Nachtheile, Uebelstände und Gefahren gegenüber, wie sie eigentlich grösser nicht gedacht werden können und die am meisten da empfunden werden müssen, wo wir es mit Räumen zu thun haben, in welchen — wie in Theatern, Concert- und Fabriksälen, Schulräumen, Conditoreien, Restaurants und auf Schiffen — naturgemäss eine grosse Anzahl von Personen in unverhältnissmässig engem Raume zusammengepfercht sind.

Wirkungen der Leuchtgasverbrennung.

§ 3. Verbrennungswärme, Heizgas.

Wir wollen hier zunächst von der Feuergefährlichkeit, Anzünde- und Explosionsgefahr des Leuchtgases ganz absehen und nur auf die übrigen bei seinem Gebrauch als Beleuchtungsmaterial für die Innenbeleuchtung der Häuser hervortretenden Uebelstände eingehen. Hauptsächlich kommen hier die bei Verwendung von Leuchtgas in geschlossenen Räumen nicht zu umgehende Luftverschlechterung, das Auftreten von Wasserdampf, Kohlensäure, sowie anderer Verbrennungsproducte in Frage, ferner die hohe bei der Ver-

brennung auftretende Verbrennungswärme[2]), das Absetzen von Russ, das Flackern der Flammen im Zugwind, sowie seine Gefährlichkeit und Giftigkeit beim Einathmen und endlich sein unangenehmer Geruch, obwohl es zweifelhaft erscheint, ob wir nicht besser thäten, gerade die letztere Eigenschaft — den üblen Geruch des Gases — zu dessen guten Seiten zu rechnen, da die Zahl der durch Leuchtgas hervorgebrachten Unglücksfälle ohne Zweifel ganz unverhältnissmässig grösser sein würde, wenn es geruchlos wäre.

Ueber die ersteren der eben erwähnten Punkte giebt die nebenstehende Tabelle[3]) hinreichend Auskunft. Die in derselben zu-

Für die stündliche Erzeugung von 100 Kerzen sind erforderlich			Dabei werden entwickelt		
Beleuchtungsart	Menge	Preis derselben Pf.	Wasser k	Kohlensäure cbm bei 0°	Wärme-Calorien[4])
Elektr. Bogenlicht . .	0,09—0,25 Pferdest.	5,4—12,3	0	0	57—158
„ Glühlicht . . .	0,46—0,85 „	14,8—14,9	0	0	290—536
Leuchtgas, Siemens' Regenerativlampe . . .	0,35—0,56 cbm	6,3—10,1	—	—[5])	etwa 1500
Leuchtgas, Argandbrenn.	0,8 cbm (bis 2)	14,4	0,86	0,46	4860
„ Zweilochbr. .	2 cbm (bis 8)	36	2,14	1,14	12150
Erdöl, grosser Rundbr.	0,28 kg	5,0[6])	0,37	0,44	3360
„ kleiner Flachbr.	0,60 „	10,8	0,80	0,95	7200
Solaröl, hygien. Lampe von Schuster & Baer	0,28 „	5,3	0,37	0,44	3360
Solaröl, kleiner Flachbr.	0,60 „	11,4	0,80	0,95	7200
Rüböl, Carcellampe . .	0,43 „	41,3	0,52	0,61	4200
„ Studirlampe . .	0,70 „	67,3	0,85	1,00	6800
Paraffin	0,77 „	139	0,99	1,22	9200
Walrath	0,77 „	270	0,89	1,17	7960
Wachs	0,77 „	308	0,88	1,18	7960
Stearin	0,92 „	166	1,04	1,30	8940
Talg	1,00 „	160	1,05	1,45	9700

[2]) Vergl. p. 4.

[3]) Dr. Ferd. Fischer, Dingler's pol. Journal **248,** 375, 1883.

[4]) Calorie ist die Einheit für Wärmemessungen. Sie bezeichnet diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm Wasser zugeführt werden muss, um dessen Temperatur um 1° Celsius zu erhöhen. Danach erwärmt 1 Calorie 1 Cubikmeter Luft um fast 3½° C.

[5]) Bei den Siemens'schen Regenerativbrennern werden die entwickelten Gase nach aussen abgeführt und kommen daher hier nicht in Betracht.

[6]) Bei sogen. Kaiseröl 11 Pf., die Preise für Solaröl sind im Steigen begriffen.

sammengestellten Zahlenwerthe lassen deutlich die grosse Verschiedenheit der verschiedenen Beleuchtungsarten hinsichtlich der für die gleiche erzeugte Lichtintensität auftretenden Verbrennungsproducte, den Verbrauch an Material resp. Kraft und der gebildeten Wärme erkennen.

Bezüglich des letzten dieser Punkte besteht zwischen der Glühlicht- und der Gasbeleuchtung ein enormer Unterschied. Ja es ist sogar die bei der Verbrennung des Leuchtgases auftretende Menge Wärme so gross, dass es zweifelhaft erscheinen muss, ob der Betrieb unserer Gasfabrikation und der Verbrauch des Leuchtgases in der jetzt angewendeten Zusammensetzung seiner Bestandtheile zu Beleuchtungszwecken ein rationeller ist. Das eigentlich Lichtgebende im Leuchtgase sind bekanntlich die schweren Kohlenwasserstoffe (Aethylen und Butylen), von denen jedoch das Leuchtgas etwa nur 3 bis im besten Falle 5% zu enthalten pflegt, während der ganze Rest von mehr als 90% brennbaren Gasen für den Process des Leuchtens ganz nutzlos mitverbrannt wird!

Prof. W. Hempel[7]) in Dresden giebt als Zusammensetzung des dortigen Leuchtgases an:

3 %	schwere Kohlenwasserstoffe
48,7	Wasserstoff
33,4	Sumpfgas
8	Kohlenoxyd
1,4	Sauerstoff
1,5	Kohlensäure
4	Stickstoff
100	Volumina.

Man ersieht hieraus, dass der Gehalt an den bei der Verbrennung nur Wärme und fast gar kein Licht liefernden Gasen Wasserstoff und Sumpfgas zusammen allein schon 82% des gesammten Gases ausmacht, und man erkennt, dass bei der hohen Verbrennungswärme dieser Gasbestandtheile die Eigenschaft des Gases, bei der Verbrennung zu leuchten, hiernach doch eigentlich nur eine accessorische Rolle spielt; die Hauptwirkung wird Erzeugung von Wärme sein. Daher liegt denn der Gedanke nahe, dass Gas getrennt als Heizgas einerseits und als Leuchtgas

[7]) W. Hempel, neue Methode zur Analyse der Gase p. 61, Leipzig 1880.

andererseits zu fabriciren und als solche an die Abnehmer zu liefern. Die Möglichkeit, den Process der Gasgewinnung in der Art zu leiten, beruht auf dem Umstand, dass innerhalb eines kurzen Zeitraumes fast ausschliesslich die schweren Kohlenwasserstoffe in den Gasretorten entbunden werden, in der darauf folgenden Zeit aber fast ausschliesslich Sumpfgas und Wasserstoff das Destillationsproduct bilden. Ein getrenntes Auffangen der Producte in den beiden eben erwähnten Phasen des sich abspielenden Processes würde einerseits Leuchtgas „par excellence“, d. h. die schweren Kohlenwasserstoffe, andererseits Heizgas geben, während jetzt der Abnehmer — der doch vom Leuchtgas eigentlich nur das Lichtgebende brauchte — gleichzeitig über 90% brennbare, nur Wärme nicht Licht gebende Gase nutzlos mitverbrennen und mitbezahlen muss. Diese Andeutungen haben in sofern Wichtigkeit, als sie zeigen, dass eben auch hinsichtlich des Gases noch Aenderungen im Betriebe und in der Fabrikation sehr wohl denkbar sind und dass man daher nicht etwa in dem Sinne die elektrische mit der Gasbeleuchtung vergleichen darf, als ob die letztere überhaupt nicht mehr verbesserungs- und veränderungsfähig sei.

Indess, wie dem auch sei, jedenfalls ist gerade die bei der Leuchtgasbeleuchtung gleichzeitig auftretende Verbrennungswärme ohne Zweifel das, was in physiologischer Beziehung am unangenehmsten und lästigsten auf die Menschen wirkt. Viel weniger ist dies bei der als Verbrennungsproduct gebildeten Kohlensäure der Fall.

§ 4. Verbrennungsgase — Anthropotoxin.

In der Regel[1]) finden wir die grosse, durch die Bildung dieses Verbrennungsproductes verursachte Luftverschlechterung als Hauptgrund gegen die Verwendung von Leuchtgas in den von Menschen bewohnten Räumen hervorgehoben. Jedoch beruht das zweifelsohne auf einem Missverstehen der hygienischen Erfahrungen. Die Sache liegt vielmehr so, dass man der einzuathmenden Luft ohne irgend welche Gefahr und ohne irgend

[1]) Beispielsweise in der II. Publication der Deutschen Edison-Ges.: „Das Edison-Licht in seiner Bedeutung für Hygiene und Rettungswesen“ (1883 bei Springer), ferner Breymann-Scholtz, allgem. Bau-Constr.-Lehre IV. Th. 215, 1881.

welche schädliche Einwirkung für die in dieser Luft athmenden Menschen Kohlensäure in beträchtlicher Menge (1—2%) zusetzen kann. Das was schädlich wirkt und uns den Aufenthalt in den von vielen Menschen erfüllten Räumen unangenehm, ja unerträglich macht, ist nicht die von ihnen ausgeathmete Kohlensäure, sondern nach einer von Pettenkofer ausgesprochenen Vermuthung ein gleichfalls als Athmungsproduct auftretender Stoff, der — wieder eingeathmet — als Gift wirkt. Es ist bis jetzt nicht gelungen, diesen bei jeder Ausathmung auftretenden Stoff, den E. Dubois-Reymond mit dem Namen Anthropotoxin („Menschengift") belegt hat, chemisch nachzuweisen, aber seine Existenz ist zweifellos dadurch erwiesen, dass Luft, welche nur 0,06% ausgeathmeter Kohlensäure enthält, bereits irrespirabel ist und bei grösserem Procentgehalt direct vergiftend wirkt, während reine Kohlensäure in beträchtlichen Mengen von einigen Procenten der Luft beigemengt ohne allen Schaden und ohne alles Unbehagen, wie oben erwähnt, eingeathmet werden kann. Es geht dies ferner daraus hervor, dass solche mit den Ausathmungsgasen verdorbene Luft bei grösserem Gehalt derselben als 0,06%, wenn wieder eingeathmet, zu Kopfschmerz- und Schwindelanfällen führt und eventuell sogar den Tod unter Krämpfen zur Folge hat, während Luft, die mit reiner, auf chemischem Wege dargestellten Kohlensäure versetzt ist, bei einem Gehalt von 2,3% allerdings auch lebensgefährlich wird und bei grösseren eingeathmeten Mengen gleichfalls den Tod durch Vergiftung herbeiführt, der dann aber ohne die eben erwähnten Neben-Erscheinungen eintritt und durch eine sich einstellende Bewusstlosigkeit, welcher dann aber nicht Krampfanfälle zuvorgehen, eingeleitet wird. Nur bis zu gewissem Grade werden wir daher den Gehalt der Luft an Kohlensäure in Wohnräumen als Massstab der Luftverderbniss ansehen dürfen und wir erkennen nach den im Vorstehenden mitgetheilten Bemerkungen, wie ungemein nothwendig eine gute Ventilation, beispielsweise in Schulräumen u. dgl. ist.

Wenn hiernach die vielfach gezogenen Schlüsse durchaus unrichtig sind, welche die nachtheilige Wirkung auf den menschlichen Organismus bei der Verwendung von Leuchtgas als Beleuchtungsmaterial aus der Bildung der Kohlensäure ableiteten, so darf nicht übersehen werden, dass Kohlensäure und Wasserdampf jedenfalls nicht die einzigen auftretenden Verbrennungsproducte der

Leuchtgasverbrennung sind, vielmehr treten ohne Zweifel eine Reihe anderer Stoffe noch gleichzeitig mit auf, deren Nachweis auf chemischem Wege schwer, vielleicht überhaupt nicht zu erbringen ist, deren Auftreten sich aber in nicht zu verkennender Weise durch das Unwohlbefinden dokumentirt, welches wir an uns geistig und körperlich wahrnehmen bei langem Aufenthalt in Räumen, die mit Leuchtgas erleuchtet sind und nicht eine hinreichend ausgiebige Ventilation besitzen. Es wird auch hier die auftretende Kohlensäure uns einen Anhalt oder ein Maass für die Luftverderbniss in Folge der Leuchtgasbeleuchtung geben, in ähnlicher Weise, wie dies der %Gehalt der durch Ausathmung in den Wohnräumen erzeugten Kohlensäure für die Menge des gebildeten, die Luft verderbenden Anthropotoxins war.

Abgesehen von den als Verbrennungsproducten des Leuchtgases auftretenden Gasen, die, wenn eingeathmet, entschieden gesundheitsschädlich wirken und abgesehen von der Giftigkeit direct eingeathmeten Leuchtgases[2]) und seinem unangenehmen Geruch[3]), welche die Anwendung des Gaslichtes begleiten, verdient noch dessen schädlicher Einfluss für die Augen erwähnt zu werden, der vermuthlich eine Folge der hohen strahlenden Wärme ist und dessen Schädlichkeit durch die Gutachten der Augenärzte als unzweifelhaft anerkannt ist. Dieser nachtheilige Einfluss wird noch ausserordentlich gesteigert, wenn die Flammen durch Zugwind hin- und herbewegt flackern, wie das bei Verwendung von offenen Flammen in Fabriksälen nur zu oft der Fall ist.

§ 5. Vorzüge des elektrischen Lichtes.

Allem eben Erwähnten gegenüber zeigen sich so recht die vortrefflichen Eigenschaften des elektrischen Lichtes, speciell des elektrischen Glühlichtes für die Verwendung im Innern der Häuser: keine Spur einer Luftverschlechterung, selbstverständlich auch kein Geruch, trotz des grössten etwaigen Zugwindes in den Räumen keine Spur von flackerndem Licht! Da, wo dies letztere etwa nicht der Fall ist, trägt stets die Mangelhaftigkeit des betreffenden die dynamoelektrische Maschine treibenden Motors die Schuld, und es ist

---

[2]) Man sollte nie in Schlafräumen Leuchtgas haben.

[3]) Vergl. Seite 9.

in dieser Beziehung die Anwendung von gleichmässig gehenden Dampfmaschinen nicht genug zu empfehlen. Alle Gaskraftmaschinen werden immer ein mehr oder minder zuckendes, für das Auge unangenehmes Licht geben, ihr Gang ist eben nicht gleichmässig genug, jede der in kleinen Zeitintervallen sich folgenden Explosionen der Gaskraftmaschinen bewirkt ein momentanes Anwachsen ihrer Umlaufsgeschwindigkeit und dadurch auch ein Fluctuiren und Aufzucken der Glühlampen, das nur durch gleichzeitige Verwendung der äusserst kostspieligen elektrischen Accumulatoren fort zu bringen sein würde, während die Anwendung guter Dampfmaschinen ein Licht zu erzeugen erlaubt, das als ideal schön bezeichnet zu werden verdient. Es ist daher — auch im Interesse anderer Zweige der Technik — dringend zu wünschen, dass unsere rigorosen, die Aufstellung von Dampfkesseln und Dampfmaschinen in der Stadt hindernden Polizeivorschriften endlich einmal fallen resp. durch bessere ersetzt werden möchten. So, wie die Sache heute liegt, ist einer gedeihlichen Entwicklung der Industrie, speciell derjenigen der elektrischen Beleuchtung, im Grunde von vornherein jeglicher Boden entzogen. Sind denn etwa die Locomotiven beispielsweise, die täglich zu hunderten von Malen auf der Stadtbahn in Berlin dessen Strassen passiren, nicht ähnlich gefährlich als gut construirte, stationär aufgestellte Dampfmaschinen! Die Benutzung jeder Art von Energie bringt Gefahren mit sich, sonst würde sie uns auch nicht Arbeit leisten können, und es kommt nur darauf an, ob man die Einrichtungen so trifft, dass die Leistung der Kraft ständig unter sachkundiger Aufsicht gehalten wird oder nicht.

Der Vorzug der Glühlichtbeleuchtung geschlossener Räume gegenüber derjenigen vermittels irgend einer anderen Beleuchtungsart ist ein so grosser, dass sich dessen Einführung unbedingt überall da empfiehlt, wo man nicht gezwungen ist, in erster Reihe auf die verursachten Kosten zu sehen. Sitzungssäle, Auditorien, Schulräume sollten unbedingt mit Glühlichtern beleuchtet werden und man sollte ferner in den Fällen, bei denen es sich etwa um die Frage „ob Glüh- oder Bogenlicht" handeln könnte, nie über deren Beantwortung auch nur einen Moment unschlüssig sein: in Räumen, in welchen fortwährend gelesen und geschrieben wird, darf nie Bogen-, sondern muss stets Glühlicht gewählt werden. Das, was man im letzteren Falle mehr, und es ist dies, wie wir sehen

werden, unter Umständen beträchtlich mehr, an Kosten für die Beleuchtung zu zahlen hat, spart man an Gesundheit der Augen und dies ist jedenfalls das Wichtigere. Das zeitweilige Flickern des Lichtes, das bei Bogenlichtern nie ganz fortzubringen ist, ist in geschlossenen Räumen für das Auge im höchsten Grade schädlich und unangenehm und aus diesem Grunde verdient hier das stetig brennende Glühlicht durchaus den Vorzug[1]).

Wir kommen nun zum eigentlichen Thema vorliegender Schrift und geben im ersten Abschnitt derselben das Princip und die Construction der älteren und neueren Dynamo-Maschinen, im zweiten Abschnitt wird die elektrische Glühlicht-, im dritten die Bogenlicht-Beleuchtung behandelt werden. Zuvor schicken wir jedoch der leichteren Verständlichkeit wegen einige Bemerkungen über die elektrischen, hier in Betracht kommenden Grössen und Einheiten vorauf.

[1]) Ueber Anwendung der Glühlichtbeleuchtung in Theatern und die Feuersicherheit derselben siehe weiter unten.

Erster Abschnitt.

I. Physikalische Vorbegriffe.

§ 6. Widerstand, elektromotorische Kraft, Stromstärke.

So lange wir durch eine elektrische Lampe, etwa durch eine Edison'sche Glühlichtlampe (Fig. 1, pag. 5) einen elektrischen Strom von gewisser Intensität hindurchsenden, so lange wird auch in der Lampe die gleiche Menge Wärme erzeugt und in Folge davon auch die gleiche Menge Licht ausgestrahlt werden. Jeder Aenderung der Stromintensität aber entspricht eine Aenderung der ausgesandten Lichtintensität; eine constante Lichtstärke setzt also Constanz des die Lampe treibenden, elektrischen Stromes voraus.

Die Intensität des letzteren selbst aber hängt von 2 Grössen ab:

1.) von der elektromotorischen Kraft (Spannung) der Elektricitätsquelle und 2.) vom Widerstande des gesammten Schliessungskreises.

Das, was wir hier soeben als elektromotorische Kraft oder Spannung bezeichnet haben, spielt bei den elektrischen Strömen eine ganz ähnliche Rolle, wie der Druck und das Gefälle beim Ausfliessen von Flüssigkeiten oder Gasen, oder wie die Temperatur bei den Wärmeleitungs-Erscheinungen. Die Analogie zwischen den genannten Erscheinungen geht ziemlich weit, und man kann sich in der That eine ganze Reihe von Erscheinungen der elektrischen Ströme genau so verlaufend denken, wie die von Flüssigkeiten. Im Besonderen bedingt die elektrische Spannung (oder elektromotorische Kraft, Potentialdifferenz) d. h. der Elektricitätsdruck, unter welchem das Fliessen des elektrischen Stroms statthat, bei gegebener Leitung in ganz ähnlicher Weise die Menge

der fortbewegten Elektricität, wie der Druck, unter welchem etwa Wasser durch ein gewisses Rohrsystem hindurchgepresst wird, die Menge des ausfliessenden Wassers und damit — caeteris paribus — auch gleichzeitig das bedingt, was man etwa an Arbeit geleistet erhalten kann. Es ist eben 1.) die Ausflussmenge einer Flüssigkeit ein Analogon zu der Stromstärke und 2.) das Gefälle, d. h. der Druck, unter welchem der Ausfluss erfolgt, ein Analogon zur elektromotorischen Kraft. Das Product beider giebt in beiden Fällen den Effect der Strömung, d. h. die vom Strom geleistete Arbeit.

Ueberall nun, wo wir es mit Leitungen irgend welcher Art zu thun haben, um entfernt von der Erzeugungsstelle einer Kraft Wirkungen derselben hervorzubringen, haben wir Verluste dieser Kraft in den Leitungen selbst in Kauf zu nehmen, die in der Regel bedingt sind durch Reibung, bei Wasserleitungen beispielsweise bedingt durch die Reibung des strömenden Wassers an den Wandungen der Zuleitungsröhren. Dem analog finden wir bei Gasleitungen eine um so grössere Abnahme des Drucks der ausströmenden Gase, je länger der Weg ist, den das Gas vom Gasometer her hat zurücklegen müssen. Da nun bei den elektrischen Strömen sich ganz ähnliche Verhältnisse zeigen, so ist man berechtigt, sich die Elektricität selbst als eine ausserordentlich leichtflüssige Flüssigkeit vorzustellen, welche die Fähigkeit besitzt, sich in einer grossen Reihe von Körpern fortzubewegen und dadurch die Erscheinungen hervorzubringen, welche wir als die des elektrischen Stromes bezeichnen. Die Geschwindigkeit selbst, mit der diese Fortbewegung der Elektricität in den verschiedenen Körpern geschieht, ist je nach der Natur des betreffenden Körpers eine sehr verschiedene: bei Metallen sehr gross; in Holz, Glas, Kautschuk fast verschwindend gering, so dass man letztere Körper — obwohl nicht ganz mit Recht — kurzweg „Nichtleiter“, die Metalle, Kohle, etc. hingegen „Leiter“ der Elektricität genannt hat. Indess ist diese Eintheilung aller Körper in die genannten zwei Klassen, wie gesagt, keine ganz zutreffende, da wir absolute „Nichtleiter“ der Elektricität ebensowenig kennen, wie Körper, welche für Wärme absolut nichtleitend wären. Qualitativ verhalten sich vielmehr hinsichtlich beider Leitungsphänomene alle Körper vollkommen gleich, unterscheiden sich aber im quantitativen Sinne hinreichend weit von einander, um die erwähnte Art der Ein-

theilung zu rechtfertigen. Der eigentliche Grund der verschiedenen Leitungsfähigkeit der Körper für Elektricität ebenso wie für Wärme wird uns selbstverständlich immer verschlossen bleiben, aber die vielfachen Analogieen zwischen der Bewegung von Elektricität und von Flüssigkeiten legen uns die Vermuthung nahe, dass auch hier eine Kraft, ein Hinderniss sich der Bewegung der Elektricität entgegensetzt, analog wie bei der Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren die Reibung derselben an den Wänden der letzteren überwunden werden muss, und wir sprechen deshalb von einem „Widerstande", den dies oder jenes Metall dem elektrischen Strome darbietet. Ein Drath von doppelter, dreifacher, ... Länge hat den doppelten, dreifachen, ... Widerstand als ein solcher von einfacher Länge; ein Drath von dem halben Querschnitt wird den doppelten Widerstand als einer von einfachem haben, u. s. w. Um diese Widerstandsgrössen in bequemer Weise mit einander vergleichen und angeben zu können, war man einem Vorschlage von W. Siemens zufolge übereingekommen, sie stets zu vergleichen mit demjenigen Widerstande, welchen ein Quecksilberfaden von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt (bei 0°) der Bewegung der Elektricität in den Weg setzt, und man nennt diese Grösse eine Siemens'sche Einheit. Neuerdings hat man auf dem elektrischen Congress in Paris eine andere Widerstandsgrösse das „Ohm" als international gültiges Maass eingeführt, welche sich jedoch in ihrem Betrage wenig von der früher allgemein gebräuchlichen Siemens' Einheit unterscheidet:

1 Siemens Einheit = 1,060 Ohm
1 Ohm [1] = 0,943 Siemens Einheiten (SE.).

Durch Widerstand und elektromotorische Kraft ist nun stets die Stromintensität gegeben und zwar ist dem Ohm'schen Gesetze zufolge:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotor. Kraft}}{\text{Widerstand}} \qquad \text{(I}$$

Es empfahl sich demgemäss; auch für die Stromstärke eine Einheit als Maass, das Ampère, einzuführen; sie entspricht derjenigen

[1]) Es sind dies die von dem kürzlich geschlossenen elektrischen Congress (Mai 1884) in Paris gesetzlich festgesetzten Werthe. Münchener off. Ausstell.-Ber. Th. II p. 15.

Stromstärke, welche in einer Minute 19,7[2]) mg Kupfer elektrolytisch ausscheiden würde.

Aus obiger Gleichung I folgt weiter:

Stromstärke mal Widerstand = elektromotorische Kraft, woraus sich die Einheit der elektromotorischen Kraft, das Volt, als diejenige elektromotorische Kraft definirt, welche bei einem Widerstande gleich 1 Ohm der Gesammtleitung in dieser den Strom 1 Ampère erzeugt. (Die Einheit der elektromotorischen Kraft 1 Volt ist übrigens nahezu gleich dem Unterschiede der elektrischen Spannung an den beiden Polplatten eines sog. Daniell'schen Elementes und wenn man demnach ein galvanisches Element dieser Gattung durch einen Drath schliesst, so dass der Widerstand des Elementes + dem des Drathes = 1 Ohm ist, so erhalten wir einen Strom von nahezu 1 Ampère Intensität.)

II. Die Dynamo-Maschinen, ihre Construction, Nutzeffect und Anwendung zur elektrischen Beleuchtung.

§ 7. Stromerzeugung in den Dynamo-Maschinen.

Die Entwicklungsgeschichte der elektrischen Beleuchtung ist eng verknüpft mit derjenigen der magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen, so dass wir erst seit der Construction der letzteren eigentlich von grösseren elektrischen Lichtanlagen überhaupt sprechen können. Früher, wo die einzigen Quellen elektrischer Ströme galvanische Elemente waren, war die Verwendung elektrischen Lichtes naturgemäss eine verschwindend geringe, einerseits wegen der Umständlichkeit und Unbequemlichkeit, welche mit der Benutzung der Hydroketten verbunden ist, andererseits in Folge der Kostspieligkeit des so erzeugten Stromes, dessen Unterhaltungskosten unter diesen Umständen sich etwa 25 mal so hoch stellten als gegenwärtig bei Anwendung unserer Dynamomaschinen. Erst durch die Verwendung dieser wurde es möglich, von starken elektrischen Strömen technische Anwendung zu machen und wenn diese letztere selbst eigentlich

---

[2]) Offic. Ber. d. Münchener Intern.-El.-Ausstell. Th. II p. 15.

erst seit wenigen Jahren datirt, während Werner Siemens[1]) das dynamoëlektrische, der Construction sämmtlicher Dynamomaschinen zu Grunde liegende Princip nun bereits vor 20 Jahren entdeckte, so lag das — wie Siemens sehr treffend bemerkt — daran, dass die dynamoëlektrische Maschine damals noch nicht fertig war, und erst noch ihre Kinderkrankheiten zu überstehen hatte. Alles aber, was unsere heutige technische Anwendung der Elektricität leistet, beruht einzig und allein auf der Verwendung dynamoëlektrischer Maschinen als Elektricitätserzeuger, und die raschen Fortschritte, welche die junge Wissenschaft der Elektrotechnik gemacht und die grossartigen Erfolge, die sie erreicht hat und deren sich in gleicher Weise kein anderer Zweig der angewendeten Wissenschaften rühmen kann, sind ausschliesslich der Fruchtbarkeit der Siemens'schen Erfindung der Dynamomaschinen zu danken.

Den Namen „dynamoëlektrische" oder Dynamo-Maschine hat Siemens zu dem Zwecke gewählt, um dadurch anzudeuten, dass bei ihr nicht vorhandener permanenter Magnetismus, wie bei den magnetoëlelektrischen, zur Stromerzeugung benutzt wird, sondern dass von ihr Arbeitskraft direct in elektrischen Strom umgewandelt wird — wobei der erzeugte Magnetismus nur gleichsam als Zwischenproduct auftritt. —

In beiden Fällen, d. h. sowohl bei den längst bekannten[2]) magneto- wie auch bei den dynamo-elektrischen Maschinen beruht die Art der Stromerzeugung auf derselben, 1831 von Faraday entdeckten Klasse von Inductionserscheinungen von Magneten auf metallische Leiter. Faraday fand nämlich, dass ein elektrischer Strom in einem in sich geschlossenen Leiter dann erzeugt wird, wenn man ihn in der Nähe von Magnetpolen bewegt oder wenn man bei unveränderlicher Lage dieser und des betreffenden metallischen Leiters den magnetischen Zustand der Magnetpole irgendwie ändert. Das Gleiche tritt ein, wenn man an Stelle des Magneten einen vom Strom durchflossenen zweiten Leiter setzt und diesen relativ zu dem ersteren bewegt oder bei unveränderlicher gegen-

[1]) Werner Siemens, Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete. Monats-Ber. d. K. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 17. Januar 1867, Pogg. Ann. **130**, 332—335.

[2]) Pixii 1832.

seitiger Stellung beider die Intensität des den zweiten der gedachten Leiter durchfliessenden elektrischen Stromes anwachsen, abfallen oder ganz verschwinden lässt. Die in dem ursprünglich stromlosen Leiter auf diese Weise auftretenden Ströme nannte Faraday „inducirte“.

Sehen wir zunächst von den letzteren Arten, inducirte Ströme zu erhalten, ab, so ist also die nothwendige Bedingung dafür, dass ein Magnet inducirend auf einen metallischen Stromleiter wirkt, die, dass relative Lagenänderung des letzteren und des Magneten eintritt: Nur so lange der Draht oder die Spirale bewegt wird, werden elektrische Ströme in dieser inducirt. Die Richtung des inducirten Stromes ist dabei stets, nach dem Lenz'schen Gesetze, eine solche, dass die Anziehung resp. Abstossung zwischen dem in Folge der Bewegung inducirten Strom und dem inducirenden Magneten die wirkliche Bewegung zu hemmen strebt. Wäre dies nicht so, so würde dadurch ein Perpetuum mobile gegeben sein, da ja alsdann der inducirte Strom selbst wieder eine Bewegung hervorzubringen im Stande sein würde, die wiederum einen inducirten Strom würde erzeugen können; was dann offenbar gegen das Gesetz von der Erhaltung der Kraft verstossen würde.

§ 8. Magnetische Kraftlinien, magnetisches Feld.

Faraday hat die Erscheinungen der Magnetoinduction auf sehr einfache Weise zu erklären gewusst, indem er dabei ausging von den magnetischen Kraftlinien, welche einen Magneten resp. einen vom elektrischen Strom durchflossenen Leiter umgeben. Diese Kraftlinien lassen sich nun bekanntlich dadurch sichtbar machen, dass man beispielsweise den zu untersuchenden Magneten mit einem Carton bedeckt und auf ihn feine Eisenfeilspäne aufsiebt, die sich in Folge der magnetischen Anziehungskräfte zu Curven anordnen, welche die beiden Pole mit einander verbinden und — von jedem derselben büschelartig divergirend — weiter und weiter im Raume sich ausbreiten. Aus der Lage der auf diese Weise sichtbar gemachten magnetischen Kraftlinien erhält man eine genaue Kenntniss des magnetischen Zustandes des Raumes, in welchem sie sich befinden, d. h. sie geben uns ein deutliches Bild von der Vertheilung des Magnetismus, von der Lage der Pole und von der Richtung der magneti-

schen Kraft an jeder Stelle. Ferner giebt uns die Anzahl der magnetischen Kraftlinien pro Flächeninhalt ein Maass für die Stärke der magnetischen Kräfte an der betreffenden Stelle. Je stärker ein Magnet magnetisirt ist, um so grösser ist die Zahl der von seinen Polen ausgehenden Kraftlinien.

Charakteristisch ist, dass solche magnetische Kraftlinien niemals ein freies Ende haben, sondern stets einen Nord- mit einem Südpol entweder desselben oder eines zweiten Magneten verbinden.

Als „Richtung" oder „positive" Richtung einer magnetischen Kraftlinie bezeichnen wir diejenige vom Nordpol aus zum Südpole hin.

Will man in ähnlicher Weise, wie vorher angedeutet, die magnetischen Kraftlinien eines vom elektrischen Strome durchflossenen Leiters aufsuchen, so führt man diesen vertical durch ein horizontal liegendes Kartenblatt hindurch, auf welches die Eisenfeile aufgesiebt wird. Auch hier ordnen sich die Eisenfeilspänchen zu geschlossenen Curven an, aber die Art ihrer Anordnung ist eine gänzlich andere. Die magnetischen Kraftlinien bilden nämlich hier Kreise oder Wirbel, welche zu dem Drathe selbst concentrisch liegen. Analog wie im zuvor erwähnten Falle ist die Zahl der Kraftlinien wieder ein Maass für die Stärke des elektrischen Stromes.

Den von den magnetischen Kraftlinien erfüllten Raum nennen wir das magnetische „Feld" des betreffenden Magneten oder Stromes. Nach dem Vorhergehenden ist es unmöglich, einen Magneten zu magnetisiren oder einen Draht vom Strome durchfliessen zu lassen, ohne dadurch gleichzeitig dem umgebenden Raum magnetische Eigenschaften mitzutheilen[1]) und es kann daher der elektrische Strom selbst als ein magnetisches Phänomen angesehen werden. Damit ergiebt sich zugleich die Möglichkeit, alle seine magnetischen Wirkungen im Voraus anzugeben, ohne irgend Rücksicht auf den Leiter des Stromes selbst nehmen zu müssen, da eben die magnetischen, denselben umgebenden Wirbel ganz ausserhalb des Stromleiters liegen. Indess besteht ein grosser Unterschied zwischen den magnetischen Kraftlinien eines elektrischen Stromes und denen eines Magneten. Die Kraftlinien eines Magneten repräsentiren den Magneten selbst, soweit als magnetische Kräfte

---

[1]) Vergl. J. Dredge, electric illumination Vol. 1 p. 46 1882.

in Betracht kommen, denn ein in Richtung der magnetischen Kraftlinien gelegtes Stück weichen Eisens wird dadurch zum Magneten und bleibt ein solcher, so lange als magnetische Kraftlinien durch dasselbe hindurchgehen. Nicht so beim elektrischen Strom: stecken wir in eine Drathspirale einen kräftigen Magnetpol, und lassen nun beide in ungeänderter Lage, so dass also die Kraftlinien des Magneten ständig durch die Spirale hindurchgehen, so wird unter diesen Umständen nie und nimmer ein Strom erregt; sondern zum Erzeugen eines solchen ist Bewegung unbedingtes Erforderniss.

Faraday sagt deshalb:

1. um vermittels eines Magneten einen elektrischen Strom in einem Drathkreise (oder einer Spirale) zu induciren, ist es erforderlich, durch relative Lagenänderung beider oder durch Aenderung der Stärke des wirksamen Magnetismus die Anzahl der von der Spirale umschlossenen magnetischen Kraftlinien zu variiren. Eine Bewegung — entweder des Magneten oder der Spirale — durch welche keine Aenderung in der Zahl der von den Drathkreisen umschlossenen Kraftlinien oder -Fäden hervorgebracht wird, kann hiernach keine Inductionswirkungen hervorbringen.

Er fand ferner:

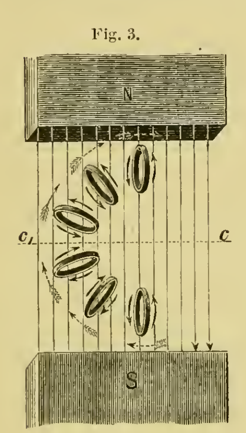
2. Annähern eines Magneten und einer Spirale aneinander bewirkt einen Strom, dessen Richtung umgekehrt ist wie die, welche durch Entfernen beider von einander in ihm inducirt wird.
3. Der inducirte Strom dauert so lange an, als die Bewegung währt.
4. Je stärker der wirksame Magnetismus, um so stärker der inducirte Strom.
5. Je schneller die Bewegung, um so stärker der in der Spirale inducirte Strom (um so kürzer aber natürlich dessen Zeitdauer).
6. Je grösser die Anzahl der Drathumwindungen der Spirale, um so stärker der bei bestimmter Bewegung inducirte Strom.

Auf diese Sätze gründet sich die Construction der älteren magneto- und der dynamoëlektrischen Maschinen.

§ 9. Induction eines magnetischen Feldes auf einen einzelnen in ihm bewegten Drathkreis.

Um die Inductionserscheinungen eines Magneten auf einen Drathleiter näher zu betrachten, welcher innerhalb dessen magnetischen Feldes bewegt wird, wollen wir annehmen, ein einzelner geschlossener Drathring bewege sich in Richtung der in der Figur punktirt gezeichneten Pfeile auf einer Kreisbahn zwischen den breiten Polen N und S eines kräftigen Magneten, dessen magnetische Kraftlinien in diesem Falle die in der Figur 3 angedeutete nahezu geradlinige Richtung von N nach S haben werden. Die Axe der Rotation sei parallel der Ebene der Drathwindungen und stehe senkrecht zu CC_1. Gehen wir nun beispielsweise von der verticalen Stellung des Drathleiters unten als Anfangsstellung aus und verfolgen die Inductionswirkungen, welche derselbe während des Durchlaufens seiner Bahn erfährt! In der Anfangsstellung gehen, da hier die Ebene des Drathkreises parallel der Richtung der Kraftlinien ist, gar keine Kraftlinien durch denselben hindurch, sobald aber die Rotation beginnt, werden mehr und mehr magnetische Kraftlinien vom Drathringe umschlossen werden, bis zu einer gewissen in der Lage C_1 erreichten Maximalanzahl. In Folge davon wird auf dem eben betrachteten Theil der Bahn ein Strom in dem Drathkreise inducirt werden, dessen Richtung (entsprechend dem Lenzschen Gesetze) auf der dem Beschauer der Figur zugekehrten Hälfte des Kreisstromes von links nach rechts gerichtet ist.

Fig. 3.



Wird nun bei weiterer Rotation die Stellung C_1 überschritten, so nimmt jetzt offenbar die Zahl der von dem Drathkreise durchschnittenen resp. durch dessen Oeffnung hindurchgehenden Kraftfäden ab, was zur Folge haben wird, dass nunmehr ein Strom von entgegengesetzter Richtung erregt wird, wie auf dem ersten Viertel der Kreisbahn. Die Richtung dieses Stromes ändert sich nicht, wenn der Drathring in die dem Nordpole N nächste Stellung gelangt und nun das dritte Viertel seiner Bahn durchläuft, da alsdann die Kraftfäden von der entgegengesetzten Seite des Drathringes aus als zu-

vor eintreten, was einer weiteren Verminderung der Zahl der durch die Spirale hindurchgehenden Kraftlinien entspricht. Gleichzeitig ist ersichtlich, dass die Aenderung in der Anzahl der durchschnittenen Kraftfäden an den den Polen des Magneten nächsten Stellungen am raschesten vor sich gehen wird. Von der Stellung in C ab wird sich dann wieder — entsprechend wie vorher bei C_1 — die Richtung des inducirten Stromes umkehren und diese Richtung auf der ganzen unteren Hälfte der Kreisbahn bis C_1 beibehalten werden. Es hat hiernach auf der ganzen Hälfte der Bahn oberhalb von CC_1 der im Drathkreise inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung als auf der andern Hälfte der Bahn; die Punkte, bei denen sich die Stromrichtung umkehrt, entsprechen den durch die Linie CC_1 angegebenen Stellungen. Bei fortgesetzter Drehung des Leiterkreises würde man also fortdauernd Ströme von veränderlicher Stärke in diesem inducirt erhalten, und zwar solche, welche während jeder vollen Umdrehung der Spirale um 360° zweimal ihre Richtung wechseln.

Der soeben mit Hülfe der Figur 3 betrachtete Inductionsververlauf entspricht genau dem der sogenannten Wechselstrommaschinen, aus welchen letzteren durch Hinzunahme eines Commutators und dadurch ermöglichtes Gleichrichten aller einzelnen Stromimpulse die bekannten, einen elektrischen Strom von bestimmter Richtung gebenden Magneto-inductionsmaschinen hervorgegangen sind. Derartige Maschinen geben aber, wie nochmals hervorgehoben werden möge, nicht constante Ströme, sondern nur eine Reihe sich rasch folgender, zu gleicher Richtung commutirter Stromimpulse, von denen jeder einzelne — entsprechend den vorhergehenden Erörterungen — bis zu einem gewissen Maximum ansteigt und dann wieder abfällt. (Hierdurch hauptsächlich unterscheiden sich die älteren Maschinen von den gegenwärtig allgemein benutzten, constante Ströme gebenden Maschinen, auf die wir sogleich[1]) werden einzugehen haben.)

§ 10. Magnetoëlektrische und dynamoëlektrische Maschinen.

Sehr viel stärkere Inductionswirkungen als blos durch Rotation von Drathkreisen oder Drathspiralen innerhalb eines magnetischen

---

[1]) Vergl. S. 29 ff.

Kraftfeldes erhält man nun aber, wenn man in zwei Spiralen einen in diesem Fall gewöhnlich hufeisenförmig gekrümmten Kern weichen Eisens hineinsteckt und diesen zwischen oder oberhalb der inducirenden Magnetpole mitrotiren lässt. Es wirkt dabei der Magnetismus der Feld-Magnete nicht direct inducirend auf die bewegten Dräthe des Ankers, sondern es geschieht dies im Wesentlichen erst indirect durch den im Eisenkerne der Armatur von den feststehenden Magneten inducirten Magnetismus; so dass der bei jedesmaligem Vorbeipassiren des Eisenkernes („Ankers") an den Polen des Magneten in jenem durch magnetische Vertheilung erzeugte, kräftige Magnetismus in diesem Falle inducirend wirkt.

Alle älteren Maschinen, von denen hauptsächlich die von Pixii, Clarke, Stöhrer genannt zu werden verdienen, sind nach diesem Schema construirt. Werner Siemens[1]) vervollkommnete sie bedeutend durch Einführung seines sogenannten Doppel-T-Ankers und die Wahl sehr breiter Polflächen der Magnete. Der Vortheil des Siemens'schen Eisenkernes besteht hauptsächlich darin, dass in Folge seiner eigenthümlichen Gestalt das Trägheitsmoment des Eisenankers gering ist, der Abstand zwischen Magnet und ihm sehr klein und deshalb die Inductionswirkung viel stärker gemacht werden kann, als sonst möglich ist.

Indess, wenn es auch immerhin durch weitere Vervollkommnung wirklich gelang, magneto-elektrische Maschinen zu construiren, welche sehr kräftige elektrische Ströme zu geben im Stande sind, so dass man sie selbst zur Erzeugung elektrischen Lichtes mit Erfolg verwenden konnte, so leiden diese magnetoëlektrischen Stromgeneratoren doch an verschiedenen Fehlern, welche sie zur fortgesetzten Erzeugung sehr starker Ströme ungeeignet machen[2]). Einmal ist der Stahlmagnetismus sehr viel schwächer als der Magnetismus, welchen Elektromagnete anzunehmen im Stande sind, zweitens nimmt der Stahlmagnetismus in viel geringerem Maasse zu, als die Masse des verwendeten Stahles und endlich verliert sich der Magnetismus namentlich grosser und kräftiger, sog. permanenter Magnete mit der Zeit mehr und mehr, und um so mehr, je häufigere Polwechsel in der Nähe der Magnetpole eintreten. Ist

---

[1]) Siemens, Pogg. Ann. **101** p. 271, 1857.

[2]) Werner Siemens, El. Z. 1 p. 49, 1880.

demnach eine magnetoëlektrische Maschine bei gewisser Rotationsgeschwindigkeit etwa Anfangs, so lange die Magnete noch sehr kräftig magnetisch sind, im Stande einen Strom von gewisser Stärke zu liefern, so wird man, wenn der Magnetismus allmälig in Folge des Gebrauchs der Maschine abnimmt, unter sonst gleichen Umständen nur noch schwächere Ströme zu erhalten vermögen.

Siemens kam nun auf den glücklichen Gedanken, durch den gewonnenen Strom zunächst den Magnetismus der Magnete selbst zu verstärken, indem er einen Drath auf letztere aufwand und durch ihn den inducirten Strom hindurchleitete.

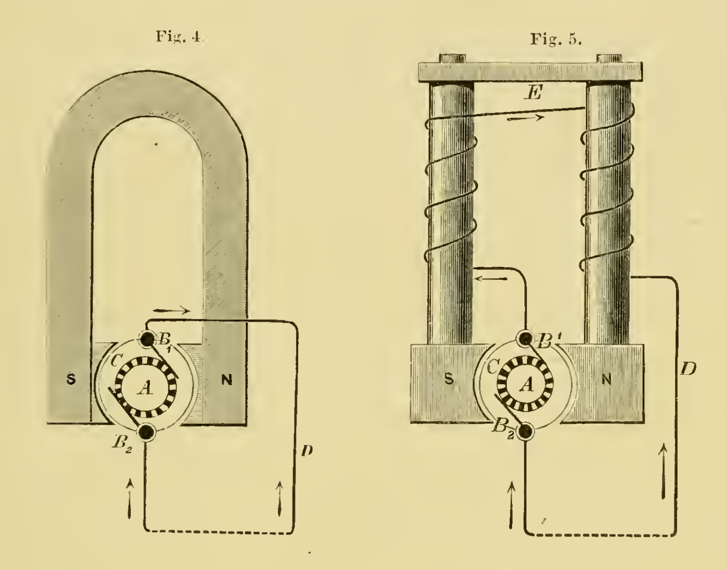


Fig. 4 zeigt das Schema einer magneto-, Fig. 5 das einer Siemens'schen dynamo-elektrischen Maschine. N und S ist der Nord-, resp. der Südpol des betreffenden Magneten, zwischen dessen Schenkeln die auf einen passend gestalteten weichen Eisenanker aufgewickelte und in Rotation zu versetzende Kuperdrahtspirale eingeschlossen ist. Die Drehungsaxe A haben wir uns senkrecht zur Ebene der Zeichnung zu denken. Die durch Inductionswirkung erzeugten Einzelströme werden durch den Commutator C[3]) gleichge-

[3]) Der in obigen Figuren schematisch angedeutete Commutator entspricht der jetzt allgemein üblichen, aus dem Paccinottischen Ringe hervorgegangenen Art der Wickelung der Armatur.

richtet und durch die auf demselben schleifenden Contactbürsten B_1 und B_2 abgenommen, um als „Nutzstrom“ im Drathe D zu verlaufen. Dem Früheren zufolge wird daher der Drath D so lange Zeit vom inducirten Strom durchflossen werden, als die Rotation der Kupferdrathspirale andauert, und in ihn werden diejenigen Apparate einzuschalten sein, in welchem der gewonnene elektrische Strom Arbeit (in Form von Wärme, Licht, chemischer Zersetzung, u. s. w.) leisten soll. —

§ 11. Das Dynamo-Princip.

Die in Fig. 5 dargestellte Anordnung unterscheidet sich von der in Fig. 4 gegebenen nur dadurch, dass in jener der Drath D von B_1 aus zunächst in passender Richtung in Windungen um die Schenkel des Hufeisenmagneten herumgeführt ist. Dadurch wird — wenn D von einem Inductionsstrom durchflossen ist — eine gewisse Vermehrung des Magnetismus des Magneten SEN bewirkt, sodass derselbe jetzt im rotirenden Anker oder der Armatur einen etwas stärkeren Strom zu induciren vermag, welcher wiederum um eine gewisse Grösse den wirksamen Magnetismus des Hufeisenmagneten vermehren wird, u. s. w. In Folge solcher gegenseitigen verstärkenden Wirkung erreicht nach einigen wenigen Umdrehungen der Strom im Drath D ein bestimmtes, von den Dimensionen der Maschine, der Anzahl Drathumwindungen des Ankers und dem Gesammtwiderstande der Leitung abhängendes Maximum. Dieses letztere ist dann erreicht, wenn der Magnet bis zu seiner vollständigen Sättigung magnetisirt ist und man erkennt, dass dieses Strommaximum im Drathe D immer erreicht werden muss, wie gering auch anfänglich der Magnetismus des Hufeisenmagneten war; ja es ist nicht ein Mal nöthig, dass bei der in Fig. 5 dargestellten Anordnung NES ein Stahlmagnet sei; im Gegentheil, bilden wir den Körper NES aus weichem Eisen, so wird die ihm innewohnende kleinste Menge Magnetismus — und selbst das weichste Eisen hat immer doch noch etwas freien Magnetismus — beim Drehen der Maschine doch genügen, um in kürzester Frist den in D zu Tage tretenden Strom bis zu seinem Maximum ansteigen zu lassen.

Damit wäre denn das von Werner Siemens entdeckte „Dynamoprincip“ gegeben; dasselbe erlaubt, mit Hülfe verhältnissmässig

kleiner Maschinen ganz ausserordentlich starke, elektrische Ströme zu erzielen, welche bei einigermaassen grossen Rotationsgeschwindigkeiten sich sogar bis zu einer Höhe zu steigern vermögen, dass in Folge der starken auftretenden Erwärmung die Umspinnung der Drähte Gefahr läuft, bis zur Verkohlung erhitzt zu werden. Es war deshalb nothwendig, die einzelnen Theile der Dynamomaschinen dieser Art durch fortdauernde Wasserkühlung vor gefahrdrohender Erhitzung zu schützen.

§ 12. Nachtheile der ursprünglichen Form der Siemens'schen Dynamo-Maschine.

Calorimetrische Versuche ergaben, dass die beobachtete Erwärmung der Dynamo-Maschinen bei weitem grösser war, als der Berechnung entsprach, wenn man nur den Leitungswiderstand des Umwindungsdrathes und die Stromstärke in Rechnung zog[1]) und es zeigte sich, dass nicht blos die Umwindungsdräthe, sondern auch, das Eisen des Ankers selbst sich stark erwärmte, eine Erscheinung, welche man anfangs glaubte, den sogenannten Foucault'schen Strömen zuschreiben zu müssen, die der Magnetismus der festen Magnete in der Masse des rotirenden, eisernen Ankers erzeugen musste; da aber die Erwärmung auch dann nicht wesentlich herabgedrückt wurde, als man an Stelle eines soliden Eisenkernes einen solchen anwendete, der aus dünnen Eisenblechen mit isolirenden, den Foucault'schen Strömen den Weg versperrenden Zwischenlagen gebildet war, so musste eine andere Erklärung der abnorm hohen Wärmeentwicklung gesucht werden. Eine nähere Untersuchung lehrte, dass das Eisen bei sehr häufigem und plötzlichem Wechsel seiner magnetischen Polarität sich dann stark erhitzt, wenn die Magnetisirung sich dem Maximum der magnetischen Capacität nähert. —

Die eben erwähnte Erscheinung bringt übrigens nicht blos die Nothwendigkeit, die Maschine während des Betriebes durch Wasser zu kühlen, mit sich, sondern es resultirt durch diese nutzlos producirte Wärme auch ein beträchtlicher Verlust an Arbeit. Beide Uebelstände bildeten ein grosses Hinderniss der Anwendung der dynamoëlektrischen Maschinen.

Wie schon hervorgehoben, ist die in Folge des Polwechsels des

---

[1]) Werner Siemens, El. Z. II p. 90, 1881.

Eisenankers der Maschinen hervorgebrachte Erwärmung desselben um so grösser, je stärker die Magnetisirung und je häufiger und je plötzlicher der Polwechsel eintritt. Der Grund dieser zunächst ziemlich unverständlich erscheinenden Thatsache wird uns klar, wenn wir uns das Eisen aus Einzel-Molecülen bestehend denken, deren jedes einen kleinen permanenten Magneten selbst bildet. Der unmagnetische Zustand wäre dann dadurch bedingt, dass die Molecularmagnetchen wirr und ungeordnet durch einander liegen, so dass sich ihre magnetischen Wirkungen gegenseitig aufheben; und wenn dementsprechend das Magnetisiren in einer solchen Lagenänderung besteht, durch welche ein Gleichrichten aller dieser Molecularmagnete hervorgebracht wird, so kann dies offenbar nicht ohne gegenseitige Reibung der einzelnen Theilchen an einander und ohne dabei auftretende Wärme bewirkt werden. Die zum Drehen der Eisenmolecüle aufzuwendende, innere Arbeit zeigt sich dann, da die Eisentheilchen einem sehr häufigen und sehr plötzlichen Polwechsel nicht rasch genug wegen der inneren Reibung folgen können, als Erhitzung des Eisens.

Nach diesen Andeutungen ist klar, dass man für die erwähnten Uebelstände nur dadurch Abhülfe schaffen kann, wenn man den die Wirksamkeit der Dynamo-Maschinen bedingenden Polwechsel ihres Eisenankers nicht plötzlich sondern langsam vor sich gehen lässt. Es war dies indess nicht möglich, ohne dass man gleichzeitig den bisher verfolgten Weg, mittels der Inductionswirkungen eines Magneten auf bewegte Drathspiralen Dynamomaschinen zu construiren, völlig verliess und Maschinen nach ganz anderen Principien baute, als die bisher besprochenen waren.

Das grosse Verdienst, diesen Weg zuerst betreten zu haben, gebührt unstreitig Gramme[2]). Der Haupttheil seiner 1871 der Pariser Akademie vorgelegten Maschine ist der Paccinotti'sche[3]), bereits 1860 erfundene Ringinductor, auf welchen Gramme das Siemens'sche Dynamoprincip angewendet und den er in constructiver Beziehung sehr wesentlich verbessert resp. vollkommen selbstständig wieder von Neuem erfunden hat.

---

[2]) Gramme, Comptes Rendus **73**, 144 u. 175, 1871.

[3]) Antonio Paccinotti, Nuovo Cimento XIX p. 378, 1863.

§ 13. Paccinotti's Ring.

Gehen wir, um die Wirkungsweise des Paccinotti'schen Ringes zu verfolgen, nochmals auf Fig. 3 (Seite 24) zurück, so erinnern wir uns, dass der innerhalb des magnetischen Feldes zwischen den Magnetpolen S und N in bestimmter Richtung rotirende Drathring auf der ganzen einen, unterhalb von CC_1 gelegenen Hälfte seiner Kreisbahn in jedem Momente von Strömen gewisser Richtung durchflossen war, während auf der ganzen anderen Hälfte von CC_1 in jedem Momente gleichfalls lauter unter sich gleichgerichtete Inductionsströme inducirt wurden, welche aber sämmtlich die entgegengesetzte Richtung wie auf der anderen Seite von CC_1 hatten. Daraus geht hervor, dass in einem in sich geschlossenen, spiralförmig aufgewundenen Drathringe, den man zwischen den Magnetpolen NS (Fig. 3, Seite 24) in analoger Weise herumrotiren lässt, wie der in jener Figur angedeutete einzelne Drathkreis, Ströme in jeder einzelnen seiner Windungen werden inducirt werden, welche auf der unterhalb von CC_1 gelegenen Hälfte der Bahn sämmtlich ein und dieselbe, auf der anderen Seite von CC_1 aber sämmtlich die entgegengesetzte Richtung haben. Wollten wir jede einzelne Windung für sich betrachten, so würde sich zeigen, dass die den Magnetpolen N resp. S zunächst gelegene Windung die stärkste Inductionswirkung erfährt, während die nach beiden Seiten von N resp. S hin weiter und weiter abgelegenen Windungen von immer schwächeren und schwächeren Inductionsströmen durchflossen werden und endlich die beiden in C_1 und C gerade befindlichen Drathwindungen gar keiner Inductionswirkung unterliegen. Genau das Gleiche nun wird der Fall sein, wenn wir auf einen weichen Eisenring uns den Kupferdrath spiralförmig aufgewunden und dessen Anfang und Ende mit einander verbunden denken. Bringen wir einen solchen Ring zwischen die Pole eines kräftigen Magneten, so werden an den den Magnetpolen zunächst liegenden Stellen zwei entgegengesetzte Pole in Folge magnetischer Vertheilung gebildet, welche ihre Lage im Raum naturgemäss auch dann beibehalten werden, wenn wir den Ring in seiner eigenen Ebene um seine Rotationsaxe rotiren lassen. Wir können daher den Fall auch so ansehn, als ob der magnetisirte eiserne Ring feststände und wir nur den in sich zurücklaufenden, auf ihn spiralförmig aufgewundenen Kupferdrath auf dem Eisenringe

gleitend herumrotiren liessen. Offenbar tritt hier der Polwechsel im eisernen Ringe nicht plötzlich und ruckweise ein, wie im Anker der zuvor besprochenen ursprünglichen magneto- oder dynamo-elektrischen Maschinen, sondern allmälig, so dass die durch fortwährendes Ummagnetisiren des Eisens eintretende Wärme eine nur geringe ist. Wie bereits auf voriger Seite erwähnt, werden bei der Rotation des Paccinotti'schen Ringinductors in allen oberhalb CC_1 (Fig. 3, Seite 24) gerade sich bewegenden Windungen Ströme, die in gewisser Richtung verlaufen, inducirt, während in sämmtlichen Windungen der unter CC_1 liegenden Ringhälfte lauter umgekehrt gerichtete Inductionsströme erregt werden. An den Enden jeder einzelnen Windung wird eine bestimmte, je nach der augenblicklichen Lage der betreffenden Windung verschieden hohe Potentialdifferenz in Folge der Magnetoinduction hervorgebracht und da sich alle diese in den einzelnen Umwindungen innerhalb einer der betrachteten Ringhälften hervorgerufenen Potentialdifferenzen addiren, genau so, wie das bei einer Anzahl in gleicher Richtung hintereinander geschalteter, galvanischer Elemente der Fall ist, so werden wir zwischen den Punkten C und C_1, welche ja die Punkte der Commutation der inducirten Ströme sind, eine gewisse Potentialdifferenz herrschend finden, welche von der Menge wirkenden Magnetismus, der Anzahl aufgewickelter Drathumwindungen und der Umdrehungsgeschwindigkeit abhängt. Da nun auf beiden durch CC_1 getrennten Ringhälften die Inductionswirkungen genau gleich aber einander entgegengesetzt sind, so werden die in den Windungen der beiden Ringhälften hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte keinen Strom erzeugen können, weil sie sich gegenseitig aufheben und zwar so lange, als alle Punkte der Drathleitung isolirt sind und keinerlei Ableitung haben. Gleichzeitig werden aber offenbar zwischen je zwei einander diametral gegenüber liegenden Punkten immer ganz bestimmte Potentialunterschiede herrschen, so dass, wenn wir an zwei solchen, gleichweit von den Magnetpolen entfernten Stellen auf dem Umwindungsdrath (dessen Oberfläche blank zu denken ist) Contactfedern schleifen lassen, die selbst mit einander durch einen Leitungsdrath verbunden sind, wir in diesem letzteren einen constanten Strom in Folge der an den beiden Ableitungsstellen herrschenden Potentialdifferenz so lange werden circuliren sehen, als unsere Maschine mit gleichbleibender Geschwindigkeit gedreht wird.

Die weitaus grösste Potentialdifferenz auf dem Umwindungsdrathe des Paccinotti'schen Ringes entspricht denjenigen Stellen seiner Peripherie, welche auf einem zu der Verbindungslinie der Magnetpole senkrechten Durchmesser liegen d. h. den Punkten C und C_1 in Fig. 3, und an diesen Stellen hat demgemäss die Stromentnahme zu erfolgen. Es entspricht dies fast völlig einer Versuchsanordnung, bei welcher wir die gleichnamigen Pole zweier gleichartiger galvanischer Elemente oder gleicher Batterieen mit einander leitend durch Dräthe verbinden würden, und die wir als „Nebeneinanderschaltung“ der Elemente bezeichnen. Es wird dabei in den letzteren naturgemäss kein Strom entstehen können, da zwischen Punkten gleich hohen elektrischen Pontentials kein Elektricitätsaustausch eintreten kann, und es muss daher der Pontentialunterschied an den Polplatten der beiden galvanischen Ketten oder Batterieen genau derselbe bleiben, mag man nun die Schliessungsdräthe einschalten oder nicht. Auch hier erhalten wir wie im obigen Falle erst dann einen Strom, wenn wir die beiden +Pole der nebeneinandergeschalteten Ketten nun durch einen Schliessungsdrath mit den beiden —Polen verbinden.

§ 14. Gramme'scher Ring.

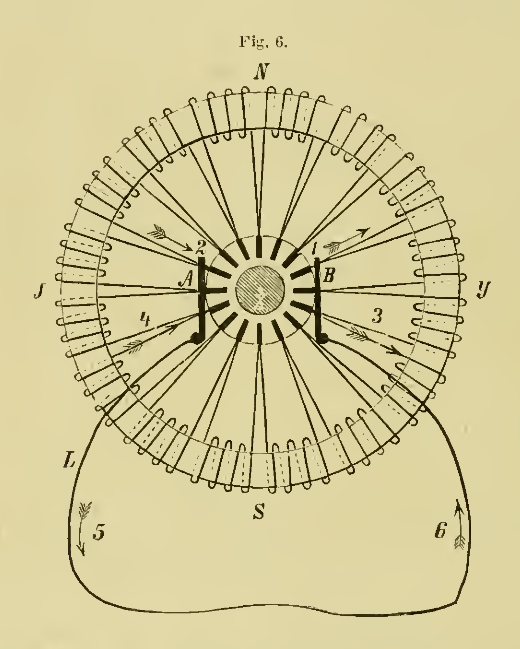
Praktisch anwendbar wäre eine solche Ringmaschine, wie die soeben besprochene, nicht, da bei einem einzelnen, spiralförmig auf den Eisenring aufgewundenen Kupferdrath immer nur eine sehr geringe elektromotorische Kraft erreichbar sein würde; indess kann man diese letztere beliebig steigern, wenn man nur hinreichend viele Umwindungen nimmt.

Es werden daher in der Praxis eine grosse Zahl, beispielsweise bei Gramme 24 einzelne Spiralen auf den Eisenring aufgewickelt, die alle unter sich durch Anschliessen jedes Anfangsdrathes der einen an den Enddrath der vorhergehenden Spirale verbunden werden, so dass das Ganze wiederum eine vollkommen in sich geschlossene Leitung repräsentirt. Die gemeinschaftlichen Enden je zweier, nebeneinander liegender Drathspiralen sind ausserdem, wie aus Fig. 6 ersichtlich, mit kupfernen, von einander isolirten Contactstücken (in Figur 6 schwarz gezeichnet) verbunden. Die Zahl der Rollen ist stets gleich der der Contactstücke, auf welchen letzteren die Contact-

federn *A* und *B* schleifen. Die Magnetpole sind in beistehender Figur wieder mit *N* und *S*, die den magnetischen Indifferenz-Punkten entsprechenden Stellen mit *J* und *Y* angedeutet. Die Pfeile geben die Richtung des Stromes in den einzelnen Umwindungen an.

Wesentlich und charakteristisch für die nach dem Vorbild des Paccinotti'schen Ringes construirten Armaturen ist der Umstand, dass wir es hier nicht mit einzelnen, durch einen Commutator zu gleicher Richtung commutirten Wechselstromimpulsen zu thun haben, sondern dass der gelieferte Strom continuirlich ohne vorherigen Stromwechsel eine und dieselbe Richtung beibehält. Eben

Fig. 6.

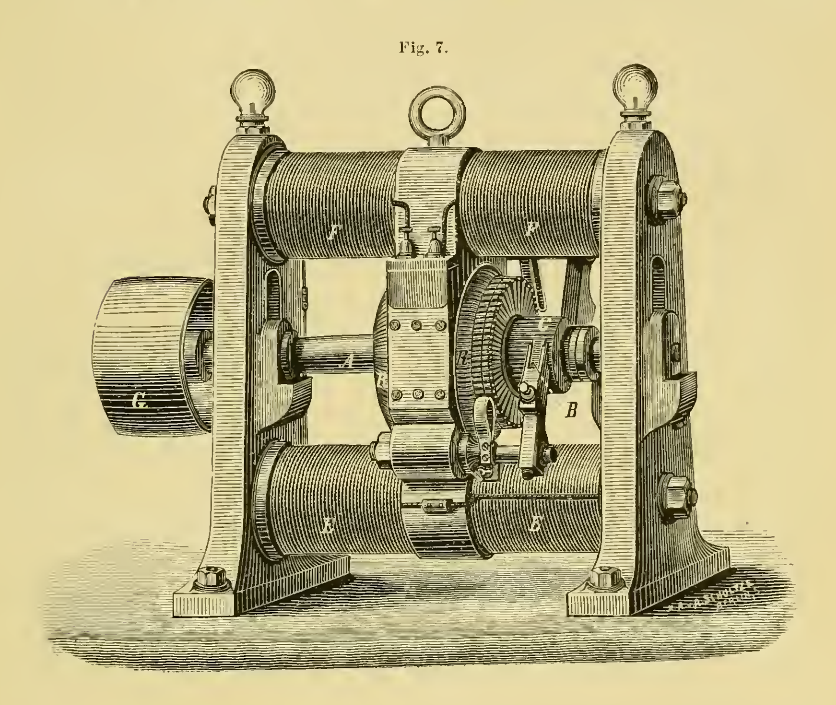


diesem Umstande zufolge bedürfen diese Art Inductoren auch keines eigentlichen Commutators, den man deshalb auch besser als Collector bezeichnet.

Wie bereits erwähnt, hat Gramme, ein Belgier von Geburt und ursprünglich Modell-Tischler der Gesellschaft l'Alliance, die es sich zur Aufgabe gemacht hatte, grosse magnetoëlektrische Maschinen zu bauen, das Verdienst, das Siemens'sche Dynamoprincip auf den Paccinotti'schen Ring angewendet und dadurch den Hauptfehler der ursprünglichen, aus Wechselstrommaschinen hervor-

gegangenen Dynamomaschine, nämlich die lästige Erwärmung der Maschine in Folge der häufigen und ruckweise eintretenden Polwechsel des rotirenden Ankers, beseitigt und damit die jetzt fast ganz allgemein verwendeten, constante Ströme gebenden Maschinen eingeführt zu haben. Für diese Art Maschinen hat O. Frölich[1]) die Bezeichnung „reine“ Dynamomaschinen eingeführt, da sie nicht aus Wechselstrommaschinen hervorgegangenen sind, sondern direct zur Erzeugung gleichgerichteter Ströme construirte Armaturen haben.

Fig. 7.



Beistehende Fig. 7 zeigt die fertige Gramme'sche Maschine, *FF* und *EE* sind je 2 das magnetische Feld erzeugende feste Elektromagnete, deren gleichnamige Pole zusammenstossen und zwischen deren halbcylindrisch ausgehöhlten Schuhplatten der Paccinotti-Gramme'sche Ring *RR* rotirt. *C* ist der Collector, auf welchem die Contactbürsten *B* schleifen. Der rotirende Ring selbst besteht übrigens in seinem Innern nicht etwa aus einer massiven, aus einem

[1]) O. Frölich, El. Z. III p. 99, 1882.

Stück gearbeiteten Eisenstange, sondern aus einem Bündel weicher, ausgeglühter Eisendräthe, die mit einem Lacküberzug versehen oder mit Baumwolle übersponnen sind, um das Auftreten der sogenannten Foucault'schen Ströme auf ein Minimum zu reduciren.

Fassen wir kurz die Wirkungsweise der Gramme'schen Maschine bezüglich deren Ringes nochmals zusammen[2]), „so befinden sich, während über jeden der beiden Pole in jedem Augenblicke eine Spule hinweggeht und hier die grösstmöglichen Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt erhält, die übrigen Spiralen gleichzeitig in allen möglichen, verschiedenen Lagen zu den Polen. In allen Spulen, welche sich auf der einen Seite des durch die magnetischen Indifferenzpunkte gezogenen Durchmessers des Ringes befinden, entstehen gleichzeitig Inductionsströme von einer und derselben Richtung, aber von verschiedener Stärke, welche sich summiren und einen einzigen Strom dieser Richtung ergeben; in allen Spulen, welche sich auf der entgegengesetzten Seite dieses Durchmessers befinden, entstehen gleichzeitig mit diesem Strome Inductionsströme von gleichfalls ungleicher Stärke, die ebenfalls unter sich dieselbe Richtung haben, aber den vorigen Strömen entgegengesetzt verlaufen. Auch diese Ströme summiren sich und stellen einen einzigen Strom dar, welcher dem vorigen Summationsstrome entgegengesetzt ist. Da nun die Spulen der einen Hälfte des Ringes mit denen der zweiten Hälfte eine ununterbrochene Leitung bilden, so heben sich diese beiden entstehenden, gleich starken und entgegengesetzt gerichteten Stromsysteme gegenseitig auf und es circulirt bei der Drehung des Ringes daher kein Strom". Sobald aber die auf der Verbindungslinie der erregenden Magnetpole senkrecht stehenden Kupfersegmente durch die äussere Leitung geschlossen sind, circulirt in dieser und demgemäss auch in jeder der beiden Hälften des Gramme'schen Ringes ein constanter Strom.

§ 15. Magnetisches Feld zweier Magnetpole bei zwischengesetztem Eisenring.

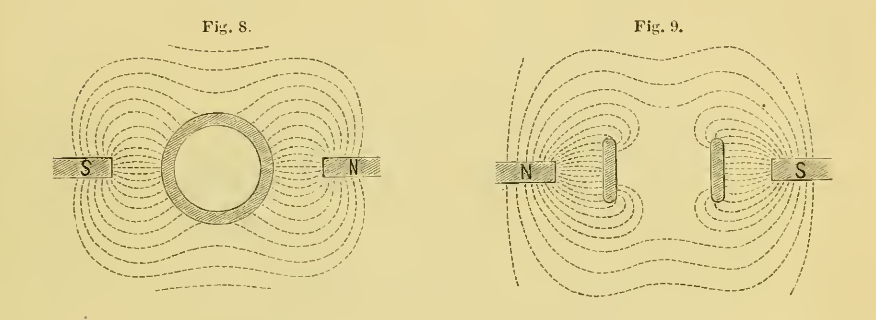
Bei der ausserordentlich grossen Wichtigkeit, welche der Gramme'sche resp. Paccinotti'sche Ring gegenwärtig für die Construction der Dynamomaschinen erhalten hat, wird es sich em-

---

[2]) H. Schellen, die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen p. 39, 1882.

pfehlen, das magnetische Feld derjenigen Maschinen, bei welchen wie in denen von Gramme ein Eisenring zwischen den Polen der Erregungsmagnete um eine zu seiner Ebene senkrechte Axe rotirt, etwas näher zu betrachten.

Wir haben bereits früher von dem Verlauf der magnetischen Kraftlinien von einem Pole eines Magneten zum andern gesprochen. Eine der Haupteigenschaften dieser Kraftlinien ist die, dass sie — wenn irgend möglich — durch magnetisirbare Körper ihren Weg nehmen, der ihnen in diesem Falle gleichsam „als guter Leiter dient". Nun aber ist Eisen vielleicht eine Million mal so magetisch als Luft und deshalb beobachten wir eine ausnehmend grosse Aenderung der Lage der magnetischen Kraftlinien, sobald wir in ein magnetisches Feld ein Stück Eisen bringen. Die magnetischen



Kraftlinien ordnen sich dabei so an, dass sie einen möglichst grossen Weg im Eisen und einen möglichst kurzen Weg in Luft oder dem sonstigen umgebenden Raum zurückzulegen haben.

Fig. 8 zeigt das magnetische Feld zweier Magnetpole S und N zwischen die ein eiserner Cylinder eingesetzt ist. Man bemerkt, dass die für gewöhnlich in glatten Curven von einem Pol zum anderen gehenden Kraftlinien hier scharf nach dem eisernen Cylinder hin umgebogen sind, in ihm ihren Weg weiter fortsetzen, um auf der anderen Seite des Ringes auszutreten und nach dem anderen Magnetpole hinzugehen. Was aber für uns gegenwärtig besonders wichtig erscheinen muss, ist, dass der ganze Innenraum des Eisenringes vollkommen frei von allen magnetischen Kraftlinien ist; sodass man einen solchen Eisencylinder in der That als Schirm benutzen kann,

um Körper, z. B. Magnetnadeln, etc. vor äusseren, wirkenden magnetischen Kräften zu schützen.

Wählen wir den Eisencylinder kurz[1]) etwa so, wie es bei dem Gramme'schen Ringe der Fall ist, so erhält man das in Fig. 9 dargestellte[2]) magnetische Feld. Die meisten der magnetischen Kraftlinien laufen an den Stellen stärkster magnetischer Kraft nahezu geradlinig vom Pole zum Ring, setzen ihren Weg im Eisen desselben fort und treten auf der gegenüberliegenden Seite des Ringes wieder aus. Eine andere Zahl von Kraftlinien geht nach oder nahe zu den Rändern des Ringes, und wird theilweise — wie die in der Figur gezeichneten — nach innen wieder um- und zum Ringe zurückbiegen und dann gleichfalls durch das Eisen des Ringes hindurch weitergehen und auf der andern Seite austreten. Endlich geht eine dritte Zahl von Kraftlinien von einem zum anderen Pole über, ohne dabei den Ring zu passiren. Auch hier wieder sehen wir, dass keine Kraftlinien durch den vom eisernen Ringe umschlossenen Raum hindurchgehen, sodass er auch hier wieder als vollkommener Schirm wirkt.

In Folge dessen unterliegen eigentlich nur die äusseren, die magnetischen Felder durchlaufenden Theile der Drathumwindungen des Gramme'schen Ringes der inducirenden Wirkung der magnetischen Kräfte, während die innere Hälfte derselben ohne wesentliche Wirkung bleibt, den Widerstand der Strombahn nutzlos vermehrt und in Folge davon wesentlich zu schädlicher Erwärmung der Maschine beiträgt.

§ 16. Trommel-Inductor von v. Hefner-Alteneck.

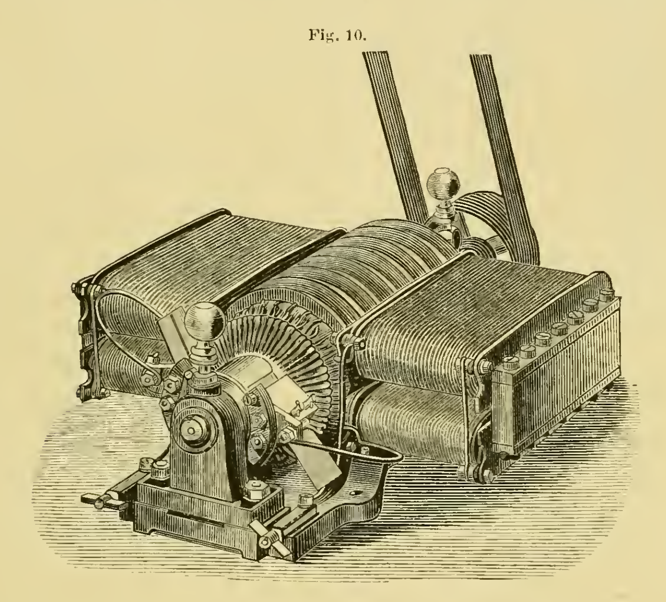
F. von Hefner-Alteneck, dem die Elektrotechnik auf allen ihren Gebieten Ausgezeichnetes verdankt, änderte den Gramme'schen Ring in höchst einfacher und sinnreicher Weise dadurch ab, dass er die inneren Windungen desselben ganz fortliess und den Umwindungsdrath knäuelartig auf eine eiserne Trommel parallel zu deren Axe in Windungen aufwand, welche gruppenweise wie bei der Gramme'schen Maschine mit den Contactstücken eines vieltheiligen Collectors verbunden werden. Fig. 10 giebt eine perspec-

[1]) Dredge, Electric Illumination p. 80, 1882.

[2]) Fig. 8 u. 9 stellen zwei aufeinander senkrechte Schnitte dar.

tivische Ansicht der Hefner'schen Maschine[1]). Durch diese soeben erwähnte Anordnung des Hefner'schen Trommel-Inductors ist das Verhältniss der den Inductionswirkungen unterworfenen Drathpartieen zu der Länge des nicht elektromotorisch wirksamen, und den Widerstand der Maschine unnöthig vergrössernden, hauptsächlich an den Stirnflächen der Trommel entlang von der einen zur anderen Seite laufenden Drathes wesentlich günstiger als bei dem Gramme-schen resp. Paccinotti'schen Ringinductor. Dagegen hat der Gramme'sche vor dem Hefner'schen Inductor den grossen Vorzug einer einfacheren Drathführung, welche die Möglichkeit ge-

Fig. 10.



währt, eine grössere Zahl kleinerer Windungsabtheilungen einzuführen, wodurch der Kraftverlust durch den beim Wechsel der Stromrichtung eintretenden Extrastrom und die zum Theil von diesem abhängige, lästige Funkenbildung vermindert wird[2]).

Die Herstellung der Trommelinductor-Umwindungen ist verhältnissmässig leicht auszuführen, hingegen ist die Verbindung der

---

[1]) Die neueren Maschinen werden in der Regel aufrechtstehend gebaut. Vergl. Fig. 59.

[2]) Vergl. Werner Siemens, El. Z. II p. 93, 1881.

Enddräthe der einzelnen Drathabtheilungen mit den zugehörigen Segmenten des Collectors namentlich in der älteren Art der Schaltung (Fig. 11) verhältnissmässig complicirt, so dass deren Ausführung sogar seiner Zeit ein Fabrikgeheimniss bleiben konnte[3]). Die neuerdings bei den Siemens'schen Maschinen verwendete Art der Schaltung der Trommeldräthe zeigt Fig. 12. Die diametral gegenüber liegenden Endpunkte der von den Commutatorsegmenten ausgehenden Dräthe hat man sich mit einander verbunden zu denken durch Dräthe, welche parallel der Axe auf dem Mantel der Trommel verlaufen.

Ausser den im Vorhergehenden besprochenen Siemens'schen und Gramme'schen Dynamomaschinen ist noch hauptsächlich die von Brush in Cleveland construirte hervorzuheben, deren genauere

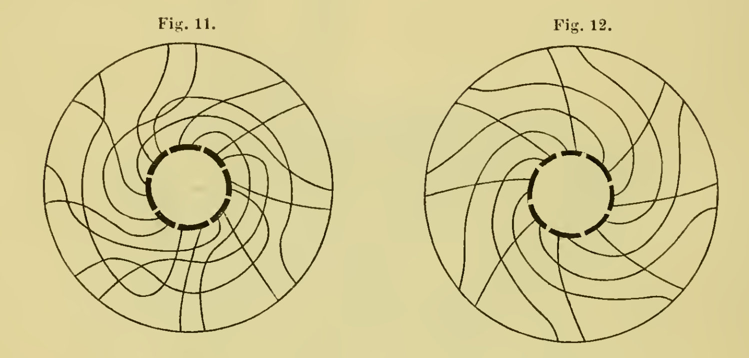


Fig. 11. Fig. 12.

Beschreibung jedoch erst im dritten Abschnitt gegeben werden soll. Es sind dieses übrigens die einzigen drei Maschinenarten, bei welchen das Siemens'sche Princip der dynamoëlektrischen Stromerzeugung in selbständiger, eigenartiger Form zur Anwendung gebracht ist, während alle anderen Maschinen nichts als Abarten oder Nachahmungen obiger drei Maschinen-Constructionen sind.

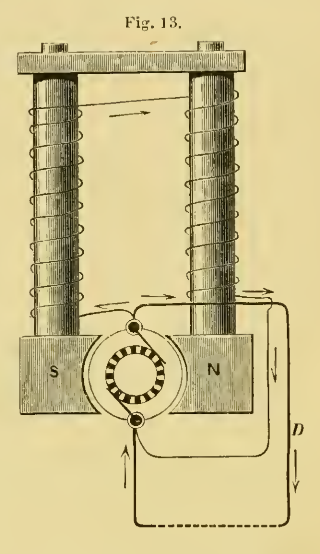
Ein in die letzterwähnte Klasse von Dynamomaschinen gehörige ist die von Wheatstone angegebene sogenannte „Nebenschlussmaschine", deren Schema Fig. 13 zeigt, und die ihrer eigenthümlichen, gegenwärtig bei sehr vielen Maschinen angewendeten Drathschaltung wegen hier noch Platz finden mag. Denkt man sich in

---

[3]) v. Hefner-Alteneck, El. Z. I p. 82, 1880.

Fig. 13 den Drath *D* fehlend, so entspricht die Maschine genau dem in Fig. 5 (Seite 27) dargestellten Schema einer Siemens'schen Maschine. Die Art ihrer Wirkung ist in der That auch genau dieselbe wie bei jener, der ganze Unterschied besteht eben nur darin, dass bei der Siemens'schen und allen „wahren" Dynamomaschinen der Nutzstrom *D* einen Theil des Hauptstroms bildet, während wie aus Fig. 13 hervorgeht, bei den Wheatstone'schen der Nutzstrom in einen Nebenschluss *D* gelegt ist. Der Vortheil dieser Art Schaltung beruht darin, dass die Schenkel des Elektromagneten stets — auch wenn die Leitung *D* ungeschlossen ist — vom Strom umflossen und die Maschine also stets sofort Strom zu liefern im Stande ist.

Fig. 13.



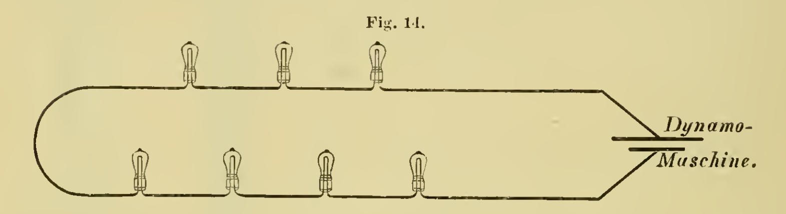
Wir haben im Vorhergehenden das principiell Wichtige der Construction der Dynamomaschinen behandelt, ohne auf die Einzelheiten ihres Baues, die je nach den betreffenden Bedürfnissen sehr verschieden sein können, genauer einzugehen, und es lassen sich auch allgemein gültige Vorschriften darüber nicht geben. Jeder bestimmte Zweck erfordert eben eine bestimmte Wahl bezüglich der Drathwiderstände, der Grösse, der Umlaufsgeschwindigkeit der Maschinen, wodurch dann wiederum die elektromotorische Kraft der Maschine und somit auch — bei gegebenem äusseren Widerstande der Leitung — die Stärke des gelieferten Stromes bedingt ist. Als Norm für die Entscheidung kann dabei nur der Satz gelten, dass man den am meisten ökonomischen Effect stets dann erzielt, wenn man den „inneren" Widerstand der Maschine gleich dem des äusseren Schliessungskreises wählt. Gleichzeitig wird man je nach den von der Maschine verlangten Leistungen — je nachdem sie beispielsweise zum Speisen von elektrischen Glühlicht- oder Bogenlicht-Lampen dienen soll — ihre elektromotorische Kraft verschieden zu wählen haben. Angenommen nun, es solle eine Maschine von einer bestimmt gegebenen (selbstverständlich hinreichend hohen) elektromotorischen Kraft und einem gegebenen inneren Widerstande zu Be-

leuchtungszwecken verwendet werden, so wird es lediglich von diesen Grössen abhängen, wie man die zu treibenden elektrischen Lampen in die Leitung zu schalten hat, um einen möglichst vortheilhaften Betrieb zu erhalten. Wir haben dabei zwei wesentlich von einander verschiedene Schaltungsarten zu unterscheiden.

§ 17. Hintereinander- und Nebeneinander-Schaltung.

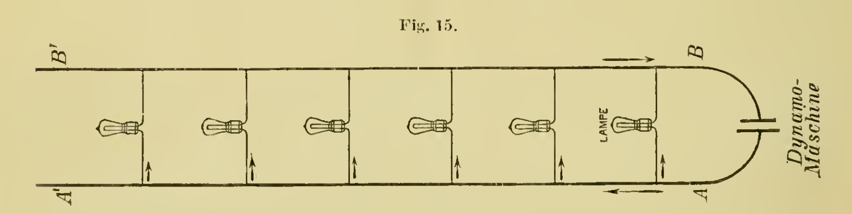
Der Unterschied beider Schaltungsweisen geht aus den folgenden Stromschematen hervor.

Fig. 14.



Bei der in Fig. 14 dargestellten Hintereinanderschaltung der Lampen geht stets der ganze im äusseren Stromkreis fliessende elektrische Strom hintereinander durch jede einzelne Lampe, die Intensität des Stroms in jeder einzelnen ist daher gleich derjenigen in einer jeden anderen Lampe und auch gleich der von der Dynamo-

Fig. 15.



maschine überhaupt gelieferten Stromintensität, während dies bei der in Fig. 15 angedeuteten „Parallel- oder Nebeneinanderschaltung" nicht der Fall ist; hier gehen von der Dynamomaschine zwei dicke Zuleitungsdrähte *AA'* und *BB'* aus, zwischen welchen eine Reihe sämmtlich in gleicher Weise eingeschalteter Lampen die Verbindung vermitteln. Jede einzelne der letzteren erhält daher, wie man erkennt, nur einen gewissen Bruchtheil des ganzen von der Dynamomaschine gelieferten Stromes.

Denkt man sich in obigen beiden Stromschematen (Fig. 14 und 15) an Stelle der einzelnen dort eingezeichneten Lämpchen lauter gleichartige, und in gleichem Sinne eingeschaltete galvanische Elemente resp. Dynamomaschinen gesetzt und an die Stelle der in jenen Figuren angegebenen Dynamomaschine die vom Strome zu durchfliessende Leitung eingeschlossen, so würden wir dadurch das Schema der Hintereinander- und der Nebeneinanderschaltung einer Zahl von Stromgeneratoren haben. Im ersteren Falle erhielte man eine um die Zahl der verwendeten Elemente resp. Dynamomaschinen mal höhere elektromotorische Kraft aber auch einen um ebensoviel mal grösseren, inneren Widerstand, als man durch Einschalten nur eines Elementes resp. einer Dynamomaschine erhalten würde; im zweiten würde man hingegen die elektromotorische Kraft der so zu einer Batterie zusammen geschalteten Elemente oder Dynamomaschinen genau so hoch finden als bei nur einem Elemente oder einer Dynamomaschine, hingegen aber den inneren Widerstand um so viel mal kleiner, als eben die Anzahl der gewählten Stromgeneratoren beträgt. Ob man die eine oder die andere Art der Schaltung zu wählen hat, hängt wiederum von den gegebenen Umständen ab.

§ 18. Verwendung der Dynamomaschinen zum Betriebe elektrischer Lampen.

Jede einzelne elektrische Lampe, gleichgültig ob Glüh- oder ob Bogenlichtlampe, erfordert, um einen bestimmten Lichteffect zu geben, eine ganz bestimmte, in ihr zu erzeugende Stromstärke, die je nach der Art der betreffenden Lampe sehr verschieden ist und die beispielsweise bei den am meisten verwendeten Glühlichtlampen (à 16 N. K.) ungefähr 1 Ampère, bei den Bogenlichtlampen hingegen zwischen 10 bis 40 Ampère beträgt. Je nach dem Widerstande der betreffenden Lampe wird daher auch die elektromotorische Kraft und der innere Widerstand der Stromquelle verschieden zu wählen sein, um gerade die erforderliche Stromstärke zu erzeugen. Ein einigermaassen starkes Bogenlicht erfordert dementsprechend eine Spannung von ungefähr 50 Volt und 10 Ampère Strom, eine Edison'sche 16-kerzige, nur $^3/_4$ Ampère Strom verlangende Glühlampe hingegen ihrem hohen Widerstande (140 Ohm) entsprechend eine elektromotorische Kraft von etwas mehr als 100 Volt an den Enden ihres Kolbenbügels. Vorausgesetzt nun, dass die Zuleitungsdräthe hinreichend

dick gewählt sind, um den hinreichenden Strom zuführen zu können, so geht aus den eben gegebenen Zahlendaten hervor, dass man stets je zwei hintereinander geschaltete Bogenlichtlampen an die Stelle einer der gedachten Glühlichtlampen wird setzen können, und es ist damit die Möglichkeit, Bogen- und Glühlichtlampen in einem und denselben Stromkreis mittels einer und derselben Dynamomaschine zu betreiben, gegeben. Es erfordert dies allerdings aber Maschinen, welche durch geeignete Vorrichtungen es ermöglichen, die Zuführungsdräthe stets genau auf dem gleichen Potentialunterschiede zu halten.

Bei der grossen, stets nach mehreren Hundert Normalkerzen zählenden Lichtstärke einer jeden elektrischen Bogenlichtlampe, werden immer schon verhältnissmässig wenige solcher Lampen für ein relativ grosses Terrain genügen; und bei der relativ geringen Spannung (50 Volt), welche jede einzelne erfordert, wird es daher möglich sein, eine ziemlich grosse Anzahl derselben hintereinandergeschaltet in einem Stromkreise zu betreiben. Es ist bei dieser Art der Schaltung der Lampen die erforderliche Spannung an den Klemmen der Dynamomaschine — verglichen mit der zum Betriebe einer einzelnen Lampe erforderlichen Spannung — um so viel mal grösser, als eben die Zahl der Lampen beträgt, und es würden demnach 12 hintereinandergeschaltete Bogenlichtlampen 12 . 50 = 600 Volt elektromotorische Kraft der Dynamomaschine erfordern. In Amerika schaltet man sogar häufig eine noch bei weitem grössere Zahl — bis zu 50 — Bogenlichtlampen hintereinander in denselben Stromkreis ein, kommt aber dann auch zu schon höchst bedenklichen elektrischen Spannungen (2500 Volt) der Maschine und der Zuleitungsdräthe, die der grossen damit verbundenen Lebensgefahr wegen durchaus verboten sein sollten. Um so hohe Spannungen, wie die eben erwähnten, zu erhalten, werden dann, anstatt einer einzelnen, die allerdings ökonomischer im Betriebe sein würde, stets mehrere Dynamomaschinen hintereinander geschaltet, da die Spannungsunterschiede an den Drahtheilen jeder einzelnen derselben dann geringer sind und somit weniger Gefahr für das Auftreten von sogenannten „Drathbrüchen“ (Durchbrennen der Umwindungsdräthe in Folge überspringender Funken) vorliegt. Der grosse Vortheil, der mit der „Hintereinanderschaltung“ der Lampen verbunden ist, besteht darin,

dass alsdann der geringen Stromstärke wegen schon verhältnissmässig dünne Dräthe oder Kabel als Stromleiter genügen. Der Nachtheil hingegen besteht darin, dass die Lampen in diesem Falle im Allgemeinen nicht von einander unabhängig sind.

Von den Glühlichtlampen auf der anderen Seite wird ihrer geringen Lichtstärke wegen — und dies gerade ist ja derjenige Punkt, welcher ihre Verwendung in Häusern und Wohnungen bedingt — stets auf verhältnissmässig geringem Terrain eine ganz unverhältnissmässig grosse Anzahl in Gebrauch sein und es erscheint daher hier die Hintereinanderschaltung von vornherein ausgeschlossen, da man schon bei nur wenigen Lampen zu praktisch ganz unmöglichen Spannungen käme. Allerdings bietet sich da die Möglichkeit, Gruppen hintereinandergeschalteter Glühlichtlampen in Parallelschaltung zu verwenden, indess würde dann das Verlöschen einer Lampe das gleichzeitige Verlöschen aller übrigen zu derselben Gruppe gehörenden nach sich ziehen, und man würde bei dieser Anordnung gerade den wesentlichsten Vortheil, den uns die reine Parallelschaltung zu bieten im Stande ist, nämlich die Möglichkeit jede Lampe einzeln entzünden und verlöschen zu können, ohne dadurch die anderen in Mitleidenschaft zu ziehen, aus der Hand gegeben haben. Verwendet man sämmtliche Glühlichtlampen, wie das z. B. Edison stets thut, in Nebeneinanderschaltung (Fig. 15 pag. 42), so braucht die elektromotorische Kraft der Maschine nicht etwa (wie bei der Hintereinanderschaltung) der verwendeten Lampenzahl proportional gewählt zu werden, sondern nur in der Art variabel zu sein, dass die Zuleitungskabel, zwischen welchen die Glühlampen eingeschaltet sind, stets — wie auch immer die Zahl der gerade brennenden Lampen variiren möge — auf einem constanten, für die betreffende Glühlampenart gerade passenden Potentialunterschied gehalten werden.

Man erkennt, dass im ersteren Falle — bei der Hintereinanderschaltung der Lampen — die Stromstärke in der Leitung constant zu bleiben hat, während im letzteren Falle, bei der Nebeneinanderschaltung der Lampen, die Stromstärke in den Zuleitungskabeln proportional der Anzahl zufällig gerade brennender Lampen zu variiren hat; somit wird hier die elektromotorische Kraft der Maschine nur innerhalb enger Gränzen zu variiren und im gedachten Falle innerhalb einer Edison'schen Lampenanlage nie beträchtlich über

110 Volt hinauszugehen haben. Ein Beispiel wird dies erläutern. Jede der von Edison in New-York verwendeten Lampen verlangt etwa $^3/_4$ Ampère Strom und da ihr Widerstand in glühendem Zustande ungefähr 140 Ohm ist, und dem Ohm'schen Gesetze zufolge ja: Widerstand mal Stromstärke = elektromotorischer Kraft ist, so müsste die Maschine $140 \cdot {}^3/_4 = 105$ Volt Spannung haben resp. eben diese Spannung constant an den Enden der Kohlenbügel der Glühlampen erhalten. Brennt nun beispielsweise nur eine Lampe, so würden die Zuleitungskabel, welche von der Maschine zu den Lampen führen, nur einen Strom von $^3/_4$ Ampère Intensität zuzuführen haben, während sie einen 100 mal so starken Strom würden zuführen müssen, wenn 100, und einen 1000 mal so starken, wenn sie 1000 Lampen speisen sollten. Damit sie dies vermögen, ohne sich selbst zu stark zu erwärmen, müssen sie von beträchtlicher Dicke sein, und aus dem gleichen Grunde muss ferner auch die den Strom erzeugende Dynamomaschine sehr starke Dräthe als Wickelung haben. Gerade hierin, nämlich in der Nothwendigkeit so ausserordentlich dicke, kostspielige Zuleitungskabel bei der Nebeneinanderschaltung verwenden zu müssen, beruht der Nachtheil dieser sonst bei weitem vorzuziehenden Art der Schaltungsweise.

§ 19. Die Leitungen.

Im Allgemeinen rechnet man bei uns 2 bis höchstens 3 Ampère Strom pro Quadratmillimeter Kupferdrath, was mit der in Amerika sowie der in England gesetzmässig vorgeschriebenen Gränze 1000 Ampère pro 1 □ Zoll engl. (= 645,15 □ mm) nahezu übereinstimmt. Schickt man stärkere Ströme, als diesem Verhältnisse entsprechen, durch die Leitungen, so geht ein zu grosser Bruchtheil der gesammten vom Strom erzeugbaren Wärme in ihnen nutzlos verloren, welche übrigens verschieden ist, je nachdem man die Dräthe freiliegend oder mit einer die Wärme schlecht leitenden Hülle umgeben verwendet. Letzteren Fall haben wir überall da, wo wir Dräthe in Form von Kabeln mit isolirender Umspinnung anwenden, da alle die Körper, welche die Elektricität schlecht leiten, auch gleichzeitig schlechte Wärmeleiter sind. Man befindet sich daher bei Anlegung von elektrischen Leitungsnetzen in einem gewissen Dilemma, nimmt man zu dünne Leitungsdräthe, so geht zu viel Elektricität in Form

von Wärme in den Leitungen nutzlos verloren, nimmt man auf der anderen Seite sehr dicke Leitungen, so dass der eben erwähnte Wärme- resp. Stromarbeits-Verlust praktisch gleich Null wird, so verliert man zu viel durch die Verzinsung des Anlage-Capitals. Es hat deshalb Sir William Thomson vorgeschlagen, die Dimensionen der Zuleitungen so zu wählen, dass man die Zinsen des in dem Kupferdrath angelegten Capitals vergleicht mit den jährlich durch nutzlose Erwärmung der Dräthe erwachsenden Kosten. Eine derartige Berechnung hat Thomson angestellt mit Zugrundelegung bestimmter Annahmen (Preis einer Tonne [2000 Pfd.] Kupfer = 70 Pfd. Sterling, durchschnittliche Dauer der elektrischen Arbeit = 12 Stunden täglich das ganze Jahr hindurch, spec. Gewicht des Kupfers 8,9, Preis einer Pferdekraft pro Jahr 10 Pfd. Sterling) und ist dadurch zu dem Resultat gelangt, dass der Querschnitt der Leitung in Quadratcentimetern gemessen ungefähr den fünfzigsten Theil[1]) der in Ampère ausgedrückten Stromstärke zu betragen habe, um einer möglichst ökonomischen Anlage zu entsprechen. Beispielsweise würde ein Strom von 21 Ampère hiernach eine Leitung von 0,4 Quadratcentimeter Querschnitt Kupfer erfordern.

In analoger Weise würde man die Dicke des Umwindungsdrathes der Dynamomaschinen zu berechnen haben. Eine für hohe Spannung und verhältnissmässig geringe Stromstärke bestimmte Maschine würde mit einer grossen Zahl Windungen relativ dünnen Drathes zu bewickeln sein, eine Maschine hingegen, die — wie bei Glühlichtanlagen mit Parallelschaltung der Lampen — für geringe elektromotorische Kraft und starke Stromstärken dienen soll, würde eine geringe Zahl sehr dicken Umwindungsdrathes zu erhalten haben.

§ 20. Die Betriebskraft und deren Kosten.

In jedem Falle, mögen wir es nun mit Bogen- oder mit Glühlichtanlagen zu thun haben, ist es nothwendig, dafür zu sorgen, dass eine jede Lampe constant die gerade für sie passende Strommenge erhält, denn hierdurch allein wird es möglich sein, Lampen von nicht schwankender Lichtstärke zu erhalten. Da nun die Licht-

[1]) Al. Perényi, El. Z. V, p. 72. 1884.

stärke mit der Stromstärke wächst, letztere direct proportional der elektromotorischen Kraft und diese wiederum — unter sonst gleichen Verhältnissen — direct proportional der Umdrehungsgeschwindigkeit des die Dynamomaschine treibenden Motors ist, so ist klar, dass wir ein um so gleichmässigeres und schöneres Licht erhalten werden, je gleichmässiger und constanter der Gang des treibenden Motors ist. Jede Aenderung in der Geschwindigkeit des Motors wird eine entsprechende Aenderung der erzeugten elektromotorischen Kraft der Dynamomaschine und eine entsprechende Aenderung der Lichtstärke nach sich ziehen, die für das Auge um so unangenehmer und um so ermüdender wirkt, je plötzlicher und je häufiger sie erfolgt. Ein Hapterforderniss aller elektrischen Lichtanlagen ist es daher, die Dynamomaschinen durch einen Motor von möglichst gleichförmigem Gange zu treiben. In Fabriken z. B., wo die Dampfmaschine ausser der Lichtmaschine noch andere Maschinen zu treiben hat, die zu verschiedenen Zeiten je nach der gerade zu leistenden Arbeit sehr verschiedene Mengen Kraft in Anspruch nehmen, wird man nie ein ruhiges Licht erhalten, dasselbe wird immer je nach der grösseren oder kleineren Umdrehungsgeschwindigkeit der Dynamomaschine mehr oder minder flickern und man wird daher immer gut thun, zum Betriebe von Lichtmaschinen, wenn irgend möglich, einen besonderen Motor zu verwenden, am besten Dampfmaschinen, die bekanntlich eine viel gleichmässigere Umdrehungsgeschwindigkeit haben, als das bei Gasmotoren z. B. der Fall ist. Letztere sind ausserdem auch im Betriebe bei weitem kostspieliger als erstere. Grössere Anlagen sind selbstverständlich erheblich billiger als kleinere, wie aus einer von Prof. Grove[1]) gegebenen Preiszusammenstellung des Werthes der Dampfkraft hervorgeht.

Pro Stunde und Pferdekraft sind zu zahlen:

1.	bei Erzeugung	kleiner	Triebkräfte	M. 0,316
2.	„ „	mittlerer	„	„ 0,219
3.	„ „	grosser	„	„ 0,085

Man wird daher im Allgemeinen nicht fehlgreifen, wenn man für elektrische Lichtanlagen (die niemals unter die Rubrik der

[1]) Vortrag von Prof. Grove gehalten in der General-Vers. des Gewerbe-Ver. zu Hannover, 3. Juli 1876.

„grosse Triebkräfte“ erfordernden Anlagen zu rechnen sein werden) als Minimum pro Pferdekraft und Stunde 20 Pf. rechnet, ein Preis der bei Anwendung von Gasmotoren bis auf 40 Pf. hinaufgehen kann.

§ 21. Nutzeffect der Dynamomaschinen.

Von der vom Motor gelieferten, der Dynamomaschine direct übertragenen Energie wird jedoch immer nur ein gewisser, wenn auch im Vergleich mit anderen Maschinen sehr beträchtlicher Bruchtheil in nutzbare Elektricität resp. in unserem Falle in Licht verwandelt. Jede Maschine, welcher Art sie auch sei, erfährt bei ihrer Bewegung stets eine Reihe von passiven Widerständen, wie Luftreibung, Zapfenreibung, Gleiten des Riemens, etc. welche sämmtlich den überhaupt möglichen Nutzeffect herabsetzen; und wenn von einer ganzen Reihe von Fabrikanten behauptet wird, ihre Dynamomaschinen verwandeln 90% und mehr (Weston behauptet sogar 98%!) der Kraft in nutzbaren Strom, so sind solcherlei Angaben mit einem sehr grossen Zweifel aufzunehmen. Nur wo die Dynamomaschine direct vom Motor getrieben wird, wird es möglich sein, 90% und vielleicht sogar noch etwas mehr der Energie in Elektricität zu verwandeln, während da, wo der Motor auch noch andere Maschinen zu treiben hat als nur die Dynamomaschine, wohl kaum von weniger als 20 bis 25% Verlust bei der Verwandlung von mechanischer in elektrische Energie die Rede sein wird, immer noch höchst vollkommene Dynamomaschinen vorausgesetzt. Die Versuche von Marcel-Deprez haben als mittleren Nutzeffect dynamoëlektrischer Maschinen 85% ergeben. Diese eben angegebenen Zahlen repräsentiren aber stets die ganze elektrische Energie, welche durch Verwandlung der mechanischen erhalten wurde, und von dieser gesammten elektrischen Energie tritt wiederum nur ein Theil als Licht im elektrischen Lichtbogen auf. Der Grund dafür liegt darin, dass nicht alle erzeugte Wärme im Lichtbogen resp. in der glühenden Kohlenfaser der Glühlampen auftritt, sondern dass ein Theil der elektrischen Energie als Wärme in den Zuleitungsdräthen und in den Drathumwindungen der Dynamomaschine selbst, also hier nicht nutzbar auftritt, und endlich wieder ein Theil in den Eisentheilen des rotirenden Ankers der Dynamomaschine in Form von sog. Foucault'schen Strömen gleichfalls nutzlos verloren geht. Die

Jury der letzten Pariser Elektricitäts-Ausstellung hat hierüber eine Reihe interessanter Daten veröffentlicht[1]), welche deutlich das Verhältniss von aufgewendeter mechanischer Arbeit zu der Gesammtmenge erzeugter Elektricität und zu der in den Lichtbögen der elektrischen Lampen schliesslich als wahrer Nutzeffect auftretenden elektrischen Energie erkennen lassen. Diese Resultate sind in nachfolgender kleinen Tabelle zusammengestellt. Mit dem Ausdruck „gesammter mechanischer Nutzeffect" ist das Verhältniss der gesammten elektrischen Arbeit zur aufgewendeten mechanischen Arbeit bezeichnet, mit „mechanischer Nutzeffect der Lichtbögen" das Verhältniss von der in den Lichtbögen wirklich gemessenen Arbeit zu der aufgewendeten mechanischen Arbeit und mit „elektrischer Nutzeffect der Lichtbögen" das Verhältniss der in den Lichtbögen gemessenen elektrischen Arbeit zur gesammten elektrischen Arbeit. Die Jury hat 13 verschiedene Maschinen untersucht und zur näheren Prüfung der erhaltenen Werthe die Maschinen je nach der Zahl (1, 2—5, 10 bis 40) der gleichzeitig betriebenen Lampen in 3 Gruppen geordnet und für jede dieser letzteren die mittleren Nutzeffecte zusammengestellt in folgender Tabelle:

Vergleichung der mittleren Nutzeffecte von Gleichstrommaschinen nach der Lichtstärke der Lampen.

	1 Lampe	2—5 Lampen	10—40 Lampen	im Mittel
Gesammter mechanischer Nutzeffect .	0,89	0,86	0,84	0,87
mechanischer Nutzeffect der Lichtbögen	0,47	0,59	0,71	0,59
elektrischer Nutzeffect der Lichtbögen	0,53	0,70	0,84	0,69
Lichtstärke pro mechanische Pferdekraft (in Carcel gemess.)	55	60	50	54
Lichtstärke pro 1 Ampère (in Carcel gemess.)	8,1	6,6	3,8	6

Aus Zeile 1 dieser Tabelle geht hervor, dass fast 90% der gesammten, vom Motor auf die Dynamomaschine übertragenen Arbeit in elektrische Energie verwandelt ist, und dass der gesammte mechanische Nutzeffect nur abhängt von gewissen lokalen Bedingungen, aber, wie Ernst Richter hervorhebt[2]), in keiner Weise etwas zu

[1]) La Lumière électrique, Bd. 7 No. 46: vergl. Ernst Richter, Resultate der Versuche mit Lichtmaschinen etc., El. Z. IV p. 26 1883.

[2]) a. a. O.

thun hat mit der Art der Verwerthung der erzeugten Elektricität, gleichgültig, ob diese ein starkes Einzellicht oder viele schwache Theilungslichter erzeugt.

Die zweite Reihe ergiebt den mechanischen Nutzeffect der Lichtbögen. Diese, auch wohl das absolute Güteverhältniss einer Lichtanlage genannte Grösse ist zur Beurtheilung einer solchen sehr wichtig, sie giebt eben an, welcher Bruchtheil der aufgewendeten, mechanischen Arbeit als elektrische Arbeit im äusseren Schliessungskreise zur Erscheinung kommt und somit für Zwecke der Beleuchtung etc. nutzbar gemacht werden kann[3]. Der mechanische Nutzeffect der Lichtbögen scheint, wie die Jury hervorhebt, bei Maschinen von hohem Widerstand d. h. solchen, welche eine grosse Zahl von Theilungslichtern treiben, etwas vortheilhafter zu sein und deshalb ist auch dort die elektrische Arbeit besser ausgenutzt. Die Anzahl der Carcel (französische Einheit der Lichtstärke 1 Carcel = 7,61 Norm. Kerzen) pro Ampère nimmt aber regelmässig ab, je grösser die Anzahl der von einer Maschine betriebenen Lampen ist. Ferner ergaben die Versuche der Jury, dass die erzeugte Lichtstärke einer Lampe nahezu proportional ist der betreffenden Stromstärke selbst und nicht, wie man das früher allgemein annahm, ihrem Quadrate proportional wächst. Ausserdem lässt die angegebene Tabelle erkennen, dass die pro mechanische Pferdekraft mit den verschiedensten Maschinen und Lampen erzeugte Lichtstärke annähernd constant ist; d. h. es wird mit derselben aufgewendeten mechanischen Arbeit ungefähr immer dieselbe Lichtmenge erzeugt und zwar unabhängig vom Grade der Theilung des Lichtes.

Eine Reihe anderer gleichfalls von einer Jury angestellten Versuche finden sich in dem officiellen Bericht der Münchener Elektricitäts-Ausstellung (1882) zusammengestellt. Auch diese Versuche haben ergeben, dass die verschiedenen (für den Grossbetrieb gebauten) Maschinen sich hinsichtlich ihres gelieferten Nutzeffectes sehr nahe stehen, wie folgende Tabelle[4] zeigt (s. folgende Seite).

Betrachtet man die sowohl in dieser wie der vorhergehenden Tabelle gegebenen Zahlen des gesammten mechanischen Nutzeffectes,

[3]) E. Dorn und E. Kittler, Offizieller Ber. der internat. elekt. Ausstellung in München 1882. Theil II p. 24.

[4]) Die Arbeit des Leerlaufs ist nicht in Abzüg gebracht.

	Maschine von			
	Schuckert	desgl.	Schwerd	Bürgin
Gesammter mechanischer Nutzeffect .		0,81	0,83	0,89
Mechanischer Nutzeffect in den Lichtbögen	0,67	0,63	0,67	0,63

so erkennt man, dass unsere Dynamomaschinen in der That einen Nutzeffect geben, wie wir ihn in gleichem Maasse bei keiner anderen Maschinengattung wiederfinden, ein Umstand, der bei ihrem geringen Alter um so mehr auffällt, als es bei Dampfmaschinen trotz des so langen Gebrauches nur geglückt ist, den Verbrauch der zur Erzeugung von 1 Pferdekraft nothwendigen Kohle von 7—8 Pfund ursprünglich, nun auf 3 Pfund resp. bei den allervollkommensten Anlagen auf 2 Pfund pro Stunde hinabzubringen.

Es ist daher kaum zu erwarten, dass hinsichtlich der Kraftausnutzung im Bau der Dynamomaschine noch sehr wesentliche Vervollkommnungen werden gemacht werden können, und es erscheint deshalb die Wahl der zu Beleuchtungsanlagen zu verwendenden Maschinen vielmehr nach der Solidität ihres Baues und der Haltbarkeit der einzelnen Theile als nach ihrer ein klein wenig höheren oder geringeren Ausnutzung der auf sie vom Motor übertragenen Kraft zu treffen zu sein. Maschinen und Lampen bilden ferner naturgemäss ein zusammengehöriges System von Apparaten und als solches muss es bei der Wahl für elektrische Beleuchtungsanlagen angesehen werden; eine mangelhaft den Strom regulirende Maschine wird auch bei den vorzüglichsten Lampen immer nur ein mangelhaftes, flackerndes Licht geben, und umgekehrt. —

§ 22. Allgemein gültige Erfordernisse elektrischer Beleuchtungsanlagen.

Als allgemein geltende Gesichtspunkte müssen folgende Punkte hervorgehoben werden:

Ein gutes elektrisches Beleuchtungssystem muss gestatten, innerhalb der erreichbaren Maximalzahl eine beliebige Anzahl von Lampen im Stromkreise zu brennen, ohne dass durch das Auslöschen einer die anderen in ihrem ruhigen Brennen irgend merklich afficirt werden, die Dynamomaschinen müssen ruhig laufen, eine gute Ventilation haben, so dass die Umwindungsdräthe bei fortgesetztem Be-

triebe auch im Sommer nicht heiss werden, sie müssen eine automatisch wirkende Stromregulirung haben, und ausserdem gut und fest gebaut sein. Die Verbindung mit dem treibenden Motor hat womöglich direct, ohne Uebertragung zu geschehen, ist dies nicht der Fall und ist die Tourenzahl des Motors, wie z. B. in der Regel in Fabriken, klein, so dass man sich also zu einer starken Uebersetzung gezwungen sieht, so bringt ein relativ kleiner Wechsel in der Geschwindigkeit des treibenden Motors der erforderlichen starken Uebersetzung wegen eine bei weitem grössere in der Dynamomaschine hervor und somit wiederum flackerndes Licht. Nur da, wo es sich um Beleuchtung vermittels elektrischer Accumulatoren, von welcher am Ende des zweiten Abschnittes die Rede sein wird, handelt, können Maschinen von ganz inconstanter Umdrehungszahl verwendet werden, sonst nie. Ausserdem sollte bei der Auswahl der elektrischen Beleuchtungsapparate stets auch darauf gesehen werden, dass die Apparate mit Zuverlässigkeit auch von Leuten bedient werden können, welche keine elektrischen Kenntnisse haben.

Zweiter Abschnitt.

Elektrische Glühlichtbeleuchtung.

---

§ 23. Geschichte der elektrischen Glühlichtbeleuchtung.

Die Schwierigkeit, mittels der Bogenlichtlampen früherer Zeit ein ruhigbrennendes Licht zu erzeugen, war so gross, dass man zeitweise ganz daran verzweifelte, sie je vollkommen überwinden zu können, und sie spricht sich am deutlichsten darin aus, dass wir in der älteren Literatur nach gründlicher Auseinandersetzung und Beschreibung des Mechanismus der sog. elektrischen Regulatoren dann wohl gelegentlich die sehr ernüchternd klingende Moral predigen hören, dass besser und vollkommener als durch alle Lampenmechanismen die Regulirung des Davy'schen Lichtbogens durch einfaches Verschieben der Kohlenspitzen mit der Hand geschehe. Eben diese Schwierigkeit führte bereits in relativ sehr früher Zeit auf den Gedanken, die galvanische Glüherscheinung vom Strom durchflossener dünner Dräthe zur Beleuchtung zu verwenden. Schon 1838 machte Jobard[1]) in Brüssel den Vorschlag, eine kleine Kohle in einem luftleeren Gefäss durch den elektrischen Strom zum Glühen zu erhitzen und als Lampe zu verwenden. 1841 liess sich F. Moleyns[2]) in Cheltenham ein Patent auf eine Lampe geben, welche darauf beruhte, dass auf eine glühende Spirale feines Kohlenpulver fiel, dann nahm de Changy[3]) 1844 Jobard's Versuche wieder auf und construirte eine Glühlampe mit einem Stäbchen aus

---

[1]) La lumière électrique IV 580.

[2]) v. Urbanitzki, das elektrische Licht p. 23.

[3]) Elektrotechn. Zeitschr. III S. 342 1882.

Retortenkohle. Starr in Cincinnati[4]) construirte zu eben jener Zeit eine Platindrathlampe, ersetzte aber den Drath 1845 durch einen Kohlenfaden, kam 1846 nach England und erhielt betreffs eines von ihm ausgestellten Candelabers mit 26 Glühlichtern von Faraday ein anerkennendes Zeugniss. Hierauf soll er sich mit dem Amerikaner King associirt und mit ihm zusammen im Jahre 1846 ein Patent auf Glühlampen mit Kohlenfäden genommen haben, dann aber vollkommen verschollen sein. Dann hatte Staite 1848 Iridium an Stelle von Platin vorgeschlagen, und 1850 nahm de Changy[5]) nach längerer Abwesenheit in England seine früheren Versuche wieder auf, und es fand seine nächste Lampe (mit 5facher Platinspirale) in Kohlenbergwerken bereits praktische Verwendung, wurde aber nach kurzem Gebrauch als „zu sicher“ verworfen, da sie das Grubengas nicht wie die Davy'sche Sicherheitslampe anzeigte. Hieran schlossen sich weitere Versuche mit Lampen, welche Kohlenstäbchen mit dicht darum gewundenem Platindrath enthielten, ferner Versuche, Stäbchen aus Wasserblei durch Verkittung mit anderen Substanzen grössere Haltbarkeit zu geben. Am 17. Mai 1858 nahm dann de Changy sein erstes Patent: „Regulirung und Vertheilung des elektrischen Glühlichtes“. Die 12 von einer einzigen Elektricitätsquelle (12 Bunsen'schen Elementen) betriebenen Lampen bestanden aus hermetisch verschlossenen Gläsern, welche dünne Platindräthe enthielten. Für jede der Lampen schaltete er in einen Theilstrom einen Elektromagneten ein, der den Strom unterbrach, sobald er bis zu einer den Platindrath gefährdenden Stärke anwuchs. Schon vorher hatte de Changy's früherer Lehrer Jobard der Pariser Akademie Mittheilung gemacht über des Ersteren Versuche, für Grubenbeleuchtung, für Arbeiten im Wasser und zum Fischfang, als Schiffsleuchten sowie für leuchtende Ankerbojen elektrische Platin-Glühlampen zu construiren. Weiterhin (1859) stellte Du Moncel Versuche mit einem Ruhmkorff'schen Inductor an und soll dabei schöne Glüheffecte mit Kohlenfäden aus Kork, Schafleder, etc., die er zuvor mit Schwefelsäure präparirte und carbonisirte, erhalten haben. Er scheint hiernach also gewissermaassen Swan und Edison vorgearbeitet zu haben. Endlich haben in Russland Kho-

---

[4]) Vergl. Polytechn. Notizblatt XXXIX. Jahrg. S. 2 1884.

[5]) Ebenda.

tinski, Florensoff und Bouliguine[6]) 1872 Glühlampen erfunden, bei denen Kohlenfasern in verdünntem Gase oder im luftleeren Raume zum Weissglühen erhitzt werden. Aber die neue Aera der elektrischen Glühlicht-Beleuchtung beginnt eigentlich erst mit dem Jahre 1874, wo die kaiserliche Akademie zu St. Petersburg dem Elektrotechniker Lodyguine den Lomonossow-Preis für die Erfindung des ersten „praktisch brauchbaren" Kohlenglühlichtes im luftleeren Raum zuerkannte. Der Bericht des Vorsitzenden der Akademie giebt an, die Kohlen seien durch Carbonisation hergestellt und ihre Verwendung empfehle sich aus folgenden Gründen[7]): 1) der elektrische Leitungswiderstand der Kohle sei 250 Mal grösser als der des Platins; 2) ein Schmelzen der Kohle selbst bei der grössten Hitze sei nicht möglich; 3) die Wärme-Capacität der Kohle sei nur halb so gross als die des Platins, so dass derselbe Strom die Kohle auf die doppelte Temperaturhöhe bringe als Platin von gleichem Querschnitt.

Ein Jahr später (1875) liess sich Konn aus St. Petersburg elektrische Kohlenglühlampen patentiren, von welchen drei Stück, durch eine Alliance-Maschine betrieben, zwei Jahre lang in dem Laden des Kaufmannes Florent in St. Petersburg in Betrieb waren. Darauf folgten die Constructionen von Bouliguine und Fontaine, welche sämmtlich durch eigene revolverartige Vorrichtungen die zerstörten Kohlen in der evacuirten Glasglocke wieder zu ersetzen suchten, wie dies in der „Revue Industrielle", Jahrgang 1877, S. 201, näher beschrieben ist.

Nach diesen immerhin zu begründeten Hoffnungen berechtigenden Versuchen müssen Edison's ältere Versuche mit Platinglühlichtlampen, welche er in Verbindung mit überaus complicirten Regulir-Apparaten an jeder Lampe am 13. November 1878 sich in Deutschland patentiren liess, entschieden als Rückschritt bezeichnet werden.

Nach dem „Scientific American" 1878, Bd. 39, S. 351, kamen indess inzwischen Sawyer und Man der Lösung des Problems sehr viel näher, indem sie z. B. 100 Lampen mit etwa 100 Ohm (?) Widerstand hinter einander in Betrieb nahmen, indessen auch die Parallel-

[6]) Ebenda.

[7]) C. Coerper, zur Geschichte der elektrischen Glühlichtbeleuchtung (Druck bei J. P. Barlam in Cöln 20593) 1883.

schaltung für den Betrieb benutzten. Dieselben stellten Lampen von gleichem Widerstand her und benutzten carbonisirte Weidenholzfaser[8]) als Conductor. Diese Kohle, welche an und für sich sehr weich und zerbrechlich ist, in sauerstofffreiem Raume vercokt, machten sie stahlhart durch Glühen mittels des elektrischen Stromes in einem Gase, welches die Kohle beim Weissglühen nicht angreift.

Ziemlich gleichzeitig hiermit stellte auch Swan Versuche an, Kohlen-Glühlampen zu erhalten, die jedoch zunächst zu keinem Resultat führten und die er erst wieder aufnahm (seit 1877), als sich die Kunde verbreitete, Edison sei die Lösung des Problems in bisher nicht erreichter Weise zu finden gelungen. Swan gelang es denn auch, zuerst (Anfang 1879) wirklich haltbare Glühlampen zu erhalten, seine Patenteingabe datirt jedoch erst aus etwas späterer Zeit als die Edison's. Letzterer meldete sein Patent am 27. November 1879 an. Sein wesentlicher Patentanspruch lautet: „Eine elektrische Lampe, die durch Weissglühen Licht giebt und in der Hauptsache aus Kohlenfaser von grossem Widerstand besteht" etc.

In der Patentbeschreibung wird ein Widerstand von 100 – 500 Ohm für die Kohlenfasern angegeben. Der Erfinder will Baumwollen- und Leinen-Faden, Holzsplitter, Papier carbonisirt, ferner Lampenschwarz, Graphit und Kohle verwendet haben. —

Indess fand Edison nun noch grosse Schwierigkeiten in der Herstellung der Lampen, da es ihm Anfangs nicht gelingen wollte, Lampen zu erhalten, welche sich lange hielten. Es sprangen nämlich stets nach einiger Zeit die in die Glaskügelchen eingeschmolzenen Platindräthe wieder aus und die Lampen wurden dadurch unbrauchbar, bis es ihm schliesslich gelang, auch diese letzte Schwierigkeit glücklich zu besiegen. Ausser ihm haben sich dann später Maxim, Lane Fox, Müller, Paterson, Crookes, Siemens und Halske, Bernstein etc. mit der Herstellung von Glühlampen mit Erfolg beschäftigt.

Wenn hiernach nun Edison, wie wir gesehen haben, viele Vorarbeiter, deren Streben in derselben Richtung ging wie das seine, gehabt hat, und wenn also auch keinerlei Berechtigung vorliegt, ihn etwa als den alleinigen Erfinder der Glühlampen hinzustellen, und es daher unverständlich erscheint, wenn von manchen Seiten immer

---

[8]) „Scientific American" 1879, Bd. 40, S. 145.

und immer wieder behauptet wird, alle anderen Glühlampen seien nichts als unberechtigte Nachbildungen der seinigen und nur die Edison'sche Glühlampe bestehe allein zu Recht, so darf man doch auch wieder nicht übersehen, dass Edison von vorn herein in anderer und besserer Weise als alle seine Vorgänger sein Ziel zu erreichen gewusst hat, indem er seines Endzieles wohlbewusst darauf ausging, Lampen von hohem Widerstande und geringer, dem Hausgebrauch entsprechender Kerzenstärke zu construiren. Jedenfalls war er es, der den Anstoss zu der Ausbildung der neuen Art der Beleuchtung gegeben, der den kühnen Gedanken einer central geleiteten, elektrischen Glühlicht-Beleuchtung einer Stadt[9]) zuerst gefasst und was mehr sagen will, verwirklicht hat, und der der Menschheit — wir können wohl sagen — die Segnungen elektrischen Glühlichts, dieser schönsten aller künstlichen Lichtarten überhaupt, trotz aller seiner Vorgänger geschenkt hat.

Welch' emsigen Fleiss, welch' eisernen Willen und welch' aussergewöhnliche Geistesfähigkeiten muss dieser Mann besitzen, der das, was er ist, nur sich selbst verdankt, der seine Laufbahn in New-York, wie die Fama sagt, als ein Zeitungen feilbietender Junge begonnen, der ohne je eine rechte Schulbildung genossen zu haben, ohne alles Vermögen sich später als Telegraphenbeamter so weit heraufzubilden vermochte, dass er eine Reihe sinnreicher telegraphischer und anderer Apparate, z. B. den Phonographen, construirte, ein ganz neues Beleuchtungssystem schliesslich mit allen seinen bis ins Kleinste ausgearbeiteten Details schaffen und dazu eine Reihe von Fabriken ins Leben rufen konnte, die heute schon vielen hunderten von Arbeitern ihr tägliches Brod, ihren Lebensunterhalt sichern.

---

[9]) Betriebsanfang der New-Yorker centralen Anlage am 3. September 1883.

Capitel I.

System Edison.

I. Stations-Anlagen.

§ 24. Edison's Central-Anlage in New-York.

Das Stationsgebäude der „Edison Electric Illuminating Co.“, nahezu in der Mitte des von Edison beleuchteten Theiles von New-York gelegen, war ursprünglich nicht zu seinem jetzigen Zwecke erbaut, es diente wie fast alle Häuser jenes Districts zu geschäftlichen Zwecken. Gerade dieser Theil New-Yorks umfasst die recht eigentliche Geschäftswelt, Haus bei Haus nichts als Waarenhäuser, ein Grund, der eben auch Edison veranlasste, gerade diesen District (allgemein als District I von Edison bezeichnet, obwohl er bis jetzt überhaupt der einzige von ihm von einer Centralstelle aus beleuchtete ist) zunächst für den Versuch einer Beleuchtung nach seinem System zu wählen. Nur als einen solchen Versuch darf man diese Beleuchtungsanlage ansehn, war doch auch zunächst eben der Beweis der Ausführbarkeit der von so unendlich vielen Seiten als unmöglich hingestellten centralen Glühlicht-Beleuchtung einer Stadt zu erbringen, handelte es sich doch hier um ein ganz neues Princip, um einen Versuch, dessen Erfolg zweifelhaft so lang erscheinen musste, als eben seine Ausführbarkeit noch nicht experimentell geprüft war, und gleichzeitig um eine Anlage, die Millionen nicht Mark sondern Dollar erforderte, ein Unternehmen, das in commercieller Beziehung von immenser Bedeutung war! Aus diesem Grunde darf man sich nicht wundern, wenn der von Edison beleuchtete District I New-Yorks nur klein ist. Es ist durchaus irrig zu sagen, New-York sei elektrisch von Edison beleuchtet, New-York d. h. die eigentliche City bis zum Centralpark hin umfasst einen Flächenraum von nahezu 11 englischen Quadratmeilen[1]) und

[1]) Das ganze zur Stadt New-York gehörende Gebiet (incl. der kleinen Inseln Randall's, Wards, Blackwell's, Bedloe's, Elis's, Governor's Island) beträgt etwa 42 Quadrat-Meilen; Manhatten Island, auf der New-York selbst liegt, über 22 Quadrat-Meilen.

der ganze von Edison beleuchtete Theil New-Yorks ist nicht viel grösser als $^1/_{10}$ engl. Quadratmeile, entspricht also ungefähr einer Kreisfläche von 310 Meter Radius. Die in den sogenannten Edison-Bülletins (redigirt von Major S. B. Eaton, Präsident der Edison Co. in New-York) angegebene und von dort aus vielfach weiter verbreitete Angabe, der Edison-District I umfasse etwa 1 engl. Quadratmeile, ist unrichtig und hätte längst schon in eben jenen Bülletins richtig gestellt werden sollen. Aber, wie dem auch sei, jedenfalls hat Edison die Möglichkeit einer centralen Glühlichtbeleuchtung einer Stadt geliefert, und es erscheint kaum noch einen Augenblick zweifelhaft, dass wir in Kurzem in allen grösseren Städten gleichfalls Glühlichtbeleuchtung werden eingeführt sehen, vorausgesetzt, dass sich nicht neue, bisher in New-York bei der Beleuchtungsanlage etwa noch nicht hervorgetretene Mängel herausstellen. Die Hauptschwierigkeit einer solchen Anlage bilden die unterirdischen Zuleitungen und es fragt sich, ob diese dauernd ihre Isolation bewahren werden, oder sich etwa dauernd verschlechtern. Dass sie sich im Vergleich zu ihrem Anfangszustand verschlechtern und auch in New-York verschlechtert haben, unterliegt keinem Zweifel. Die Companie hält mit der Veröffentlichung dahin zielender Messungsresultate aus leicht ersichtlichen Gründen zurück; Leute, die nicht hinreichende physikalische Kenntnisse besitzen, könnten leicht zu falschen Schlüssen dadurch geführt werden, wenn etwa veröffentlicht würde, die unterirdischen Kabel hätten beispielsweise jetzt nur noch den 50sten Theil ihres ursprünglichen Widerstandes, sie könnten dadurch dazu verleitet werden, daraus zu schliessen, dass eben dies Heruntergehen des Widerstandes die Unmöglichkeit des Systems zeige, während sie nicht bedenken, dass es dann doch immer noch darauf ankommt, wie gross wirklich dieser 50ste Theil sei und in welchem Verhältniss er steht zu dem Widerstande, den die nebeneinander in die Leitung eingeschalteten Lampen repräsentiren, und während sie ausser Acht lassen, dass dergleichen Widerstände zeitweise auch wieder hinaufgehen. Thatsache ist, dass, selbst wenn wir die obige, jedenfalls zu hoch gegriffene Annahme machen, dann der in Folge dieser geringeren Isolation hervorgehende Verlust an elektrischer Energie erst kaum derjenigen Menge Elektricität entsprechen würde, welche erforderlich ist, um eine einzige Lampe zu speisen. Welch ein unbedeutender Verlust im Vergleich zu den

10 000 Lampen, die an die Leitung angeschlossen sind, und im Vergleich zu der Zahl der Lampen (beispielsweise 289 am 20. August und 606 am 1. September 1883), welche durchschnittlich die ganze Zeit von 24 Stunden gebrannt haben! — (Diese letztere Zahl ist erhalten dadurch, dass die Summe der Brennstunden sämmtlicher Lampen gebildet und diese Summe durch 24 dividirt ist.)

§ 25. Das Edison-Stationsgebäude in New-York.

Indess gehen wir zur Beschreibung der Station selbst über: Das Gebäude derselben ist ein vierstöckiges 50′ breites, 100′ tiefes Gebäude in der Pearlstr. 257 (vergl. Tafel I), die Keller erstrecken sich — wie das bei allen Häusern in Amerika der Fall und äusserst zweckmässig ist — bis weit unter das Trottoir der Strassen, so dass sämmtliches Heizmaterial gleich von der Strasse aus durch eine Oeffnung hindurch direct in die Keller geschaufelt werden kann, eine Einrichtung die sehr nachahmungswerth erscheint. Die eine Hälfte des Kellers dient zur Aufbewahrung des Kohlenmaterials und als Aschenraum, die andere Hälfte birgt 4 colossale Dampfkessel System Babcock & Wilcox, jeder für 250 Pferdekräfte. Sie geben ihren Dampf an ein gemeinschaftliches 8zölliges Rohr ab, so zwar, dass jeder Kessel einzeln abgestellt und gereinigt werden kann. Von diesem centralen Rohr aus führen dann 5 Zoll weite Verbindungsröhren zu den Betriebsmaschinen der im Parterregeschoss des Gebäudes aufgestellten 6 „Dampfdynamos“ (Fig. 16 Seite 63), wie Edison die directe Combination der Dampf- und der dynamo-elektrischen Maschinen kurzweg nennt. Bei Vollbetrieb der Station sollen die Kessel täglich 100 Ctr. Kohlen und 1000 Ctr. Wasser verbrauchen. (Edison's Büll. Seite 50.) Für die Feuerung dienen 2 Schornsteine (80 Fuss hoch, 5 Fuss im Durchmesser) und zum Transport der Kohlen und Asche Förderschrauben, welche von einer besonderen Dampfmaschine getrieben werden, ausserdem befinden sich im Kellergeschoss auch noch die Wasserpump- und die Gebläse-Apparate, deren geförderte Luft, in Röhren aufwärts zu den Dynamomaschinen geleitet, dazu dient, die Armatur der letzteren während des Betriebes kalt zu halten.

Wie schon erwähnt, haben die Dampfdynamos im Parterregeschoss des Stationsgebäudes ihre Aufstellung erhalten und da das

Gewicht jeder einzelnen etwa 600 Centner beträgt, so war es nothwendig, ein sehr kräftiges, eisernes Balkenwerk einzuführen. Eine im Juli 1882 von 2 Experten (Mr. CC. Schneider & A. Schweizer) angestellte Untersuchung ergab, dass die ausgeführte Construction vollkommen hinreichende Stärke hat, um das immense Gewicht (500 000 Pfund) der gesammten zu tragenden Last auszuhalten[1]. Durch sehr sorgfältig gewählte Aufstellung der Maschinen u. s. w. ist ausserdem die Belastung möglichst gleichmässig so vertheilt, dass pro Quadratfuss Bodenfläche im Durchschnitt etwa nur 2 Ctr. Belastung kommen.

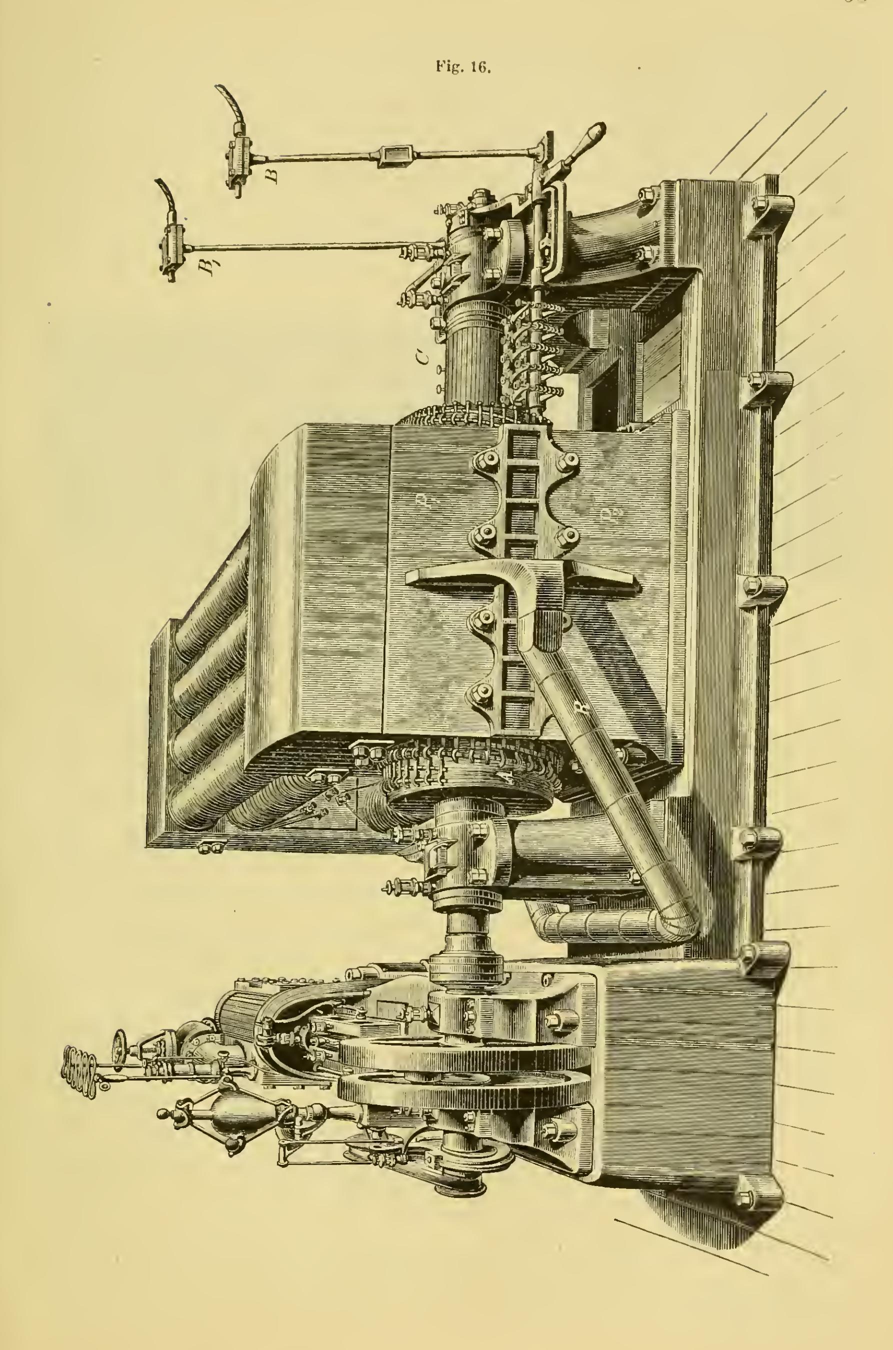
§ 26. Edison's Dampf-Dynamomaschinen.

Die Dampfmaschinen, jede von 125 Pferdestärken (nominell), gestatten eine Maximalleistung von 200 (?) Pferdekräften, sodass im Maximum 1200 Pferdekräfte auf der Station zur Verfügung stehen; die älteren dieser Motoren sind sogenannte „Porter-Allen" Maschinen, während neuerdings Edison ihres gleichmässigen Ganges wegen nur noch „Lawrencemaschinen" von der Armington & Sims Co. zu Providence verwendet. Der Cylinder dieser Maschinen hat 16″ Kolbenhub und 11³/₁₆″ im Durchmesser, die Kolbengeschwindigkeit ist 933′ per Minute. Die Maschinen machen bei 120 Pfund Dampfdruck 350 Umdrehungen per Minute[1]; und sind — da jeder Riemenbetrieb stets etwas unsicheres hat — direct mit der Welle der Edison'schen Dynamomaschinen durch eine zweckmässige Art der Kuppelung, welche etwaige Ungleichheiten in der Stellung und Lagerung der Axen der Dampf- und der Dynamomaschine ausgleicht, verbunden. Bei den Porter-Allen Maschinen sitzt hinter dem Hauptlager der Kurbelwelle auf dieser der Regulator, welcher — äusserlich einer Riemscheibe ähnlich — der Luft wenig Widerstand bietet und, indem er die Excentricität des Excenters des Dampfschiebers der Maschine unmittelbar vergrössert oder verkleinert, den Weg des Schiebers ändert, mithin die Dauer des Dampfzutrittes verlängert oder verkürzt, so dass der Expansionsgrad stets der aufgewendeten

[1]) Edison Bülletin p. 123.

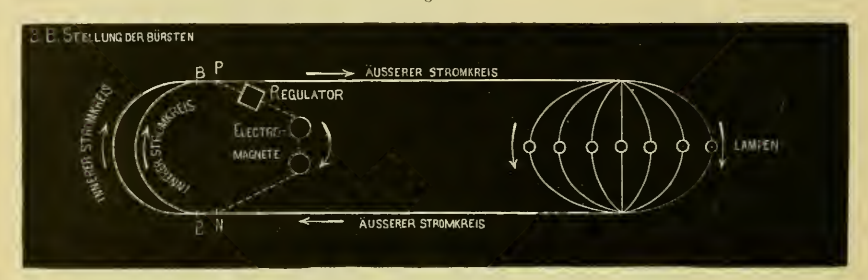
[1]) Siehe: „Der Techniker", international. Organ für Fortschr. der Wiss. u. Gewerbe, hersg. von P. Goepel in New-York Bd. 4 p. 343.

Fig. 16.



Arbeit entspricht. Fig. 16 giebt eine Gesammtansicht der Edison'schen Dampfdynamomaschinen, Fig. 17 das Schema des Stromlaufes. Die Dimensionen dieser in Fig. 16 dargestellten Maschinen sind, der grossen Zahl (1200 Glühlampen à 16 Normalkerzen) der zu treibenden Lampen entsprechend, sehr beträchtlich. Die die Dynamo- und die zugehörige Dampfmaschine tragende eiserne Bodenplatte ist aus zwei mit einander verbundenen Gussstücken zusammengesetzt,

Fig. 17.



4,3 m lang und 2,67 m breit. Die Gewichte der einzelnen Theile der Dampfdynamos sind folgende[2]):

Eiserne Bodenplatte	4689 K.
Zinkplatte (75 mm dick, als Auflager für die inducirenden Magnete dienend)	303 „
Blöcke für die Zapfenlager etc.	362 „
Armatur (A Fig. 16)	6037 „
Polstücke der festen Elektromagnete . . .	7426 „
Kerne der „ „ . .	5600 „
Dampfmaschine	2948 „
Summa . . .	27365 K.

Davon gehen 1560 kg auf das an der Maschine verwendete Kupfer und zwar wiegen[3]) die

Kupferbarren der Armatur	268 kg
„ scheiben „	612 „
Drathumwindungen der festen Elektromagnete	680 „

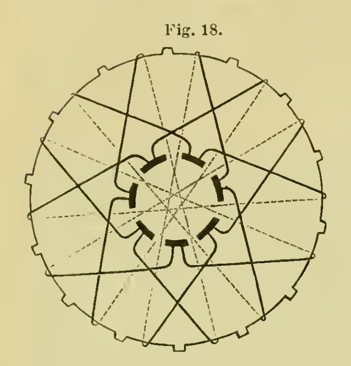
[2]) Edison Bülletin p. 100.

[3]) Glaser-De Cew, die magneto- und dynamoelektrischen Maschinen, Elektrotechn. Bibliothek Bd. 1 p. 106.

Der Widerstand der Armatur A beträgt nur 0,0004 Ohm, ihr Durchmesser 70 cm, ihre Länge 1,50 m. Die Art der Wickelung entspricht im Allgemeinen derjenigen des v. Hefner-Alteneck'schen Trommel-Inductors und ist anstatt aus Dräthen aus 98 dicken, quadratischen Kupferbarren von 2 qcm Querschnitt gebildet, welche man auf beiden Seiten der Polschuhe P_1 und P_2 in Fig. 16 auf der Trommel hervorragen sieht. Die Verbindung ist folgendermaassen ausgeführt: Auf die 15 cm dicke Axe der Trommelarmatur sind je 49 runde Kupferscheiben von einander und von der Axe isolirt aufgesetzt. Bezeichnen wir dasjenige Ende der Armaturaxe als das vordere, an welchem der Collector angebracht ist, so sind an jede der 49, auf das hintere Ende der Axe aufgesetzten kupfernen Verbindungsscheiben einander diametral gegenüber zwei von den die Wickelungsdräthe repräsentirenden Kupferbarren fest angeschraubt, während ihre vorderen Enden nach zwei verschiedenen der vorderen 49 Verbindungsscheiben in der Art geführt sind, dass dadurch sämmtliche Armaturbarren hintereinander geschaltet zu einer zusammenhängenden, in sich geschlossenen, knäuelartig auf die cylindrische Trommel aufgewundenen Leitung vereinigt sind. Die soeben besprochene Art der Verbindung der einzelnen Kupferbarren unter einander durch die auf die Axe aufgesetzten Kupferscheiben ist lediglich aus dem Grunde gewählt worden, um den Widerstand der gesammten Armaturwickelung so klein als möglich zu machen. Im Besonderen muss dies bei denjenigen Theilen der Armatur geschehen, welche in Folge ihrer Lage keinerlei Inductionswirkungen erfahren und deshalb nur unnützen Widerstand darbieten, wie das unsern früheren Betrachtungen zufolge (vergl. Seite 39) mit den quer von der einen Seite der Armatur nach der gegenüberliegenden als Verbindungsdräthe hinüberlaufenden Leiterstücken der Fall ist. Jeder der auf das vordere Ende der Axe der Armatur aufgesetzten kupfernen Verbindungsringe ist ausserdem mit einem Segment des 49-theiligen Collectors verbunden. Das Innere des von den Kupferbarren eingehüllten Raumes, bezüglich der Raum zwischen letzteren und der 15 cm dicken, mit einer Holzumkleidung versehenen Stahlaxe wird ausgefüllt durch eine Reihe auf die Axe aufgesteckter, ringförmig ausgestanzter Eisenblechscheiben, die durch Papierzwischenlagen von einander getrennt sind, Letzteres, um die sogenannten Foucault'schen Ströme auf ein Minimum herunterzudrücken. Auf dem Col-

lector *C* der Armatur schleifen 5 Paare von Contactbürsten, um durch diese grosse Zahl die Funkenbildung möglichst schwach zu machen. Die ungrade Zahl (49) der Collector-Segmente hat zur Folge, dass die genau diametral einander gegenübergesetzten Contactbürsten nicht gleichzeitig von einem Segment des Collectors zum nächsten übergehn, vielmehr die eine von beiden einen kurzen Schluss zweier Segmente bewirkt, während die andere Collectorbürste sich gerade auf der Mitte des gegenüberliegenden Kupfersegments des Collectors befindet. Es geht dies deutlicher aus nebenstehender Fig. 18 hervor, welche das Schema einer Edison'schen Armaturwickelung zeigt, deren Collector siebentheilig ist und deren Drath dementsprechend in sieben einzelnen, hintereinander geschalteten Gruppen aufgewickelt ist.

Fig. 18.



Die erregenden Elektromagnete incl. ihrer Polstücke P_1, P_2 der in Fig. 16 Seite 63 abgebildeten Edison'schen Dampfdynamomaschinen sind etwa 1,5 m lang, der Widerstand ihrer Drathumwindung beträgt 21 Ohm. Die Schaltungsweise der Wickelungsdräthe der Maschine entspricht, wie bei allen Edison'schen Maschinen, derjenigen der in Fig. 13 Seite 41 dargestellten, nach Wheatstone's Angaben construirten Nebenschlussmaschinen. Die Kerne der feststehenden Erregungsmagnete werden aus zwölf etwa 20 bis 23 cm dicken und 1,5 m langen Eisensäulen gebildet, von denen 2 Reihen zu je 4 (Fig. 16) den oberen Pol P_1, die dritte Reihe den unteren Pol P_2 der Erregungsmagnete bilden[4]). Die Polstücke der letzteren umschliessen die cylindrische Armatur der Maschine ziemlich vollständig und lassen zwischen ihrer Höhlung und den Kupferstäben der Armatur nur einen 6 mm hohen Raum frei. In Fig. 16 ist *R* das die Kühlung der Armatur bewirkende Ventilationsrohr, bei *C* ist der Collector (30 cm im Durchmesser), und bei *B* und B_1 sind die den elektrischen Strom fortleitenden 25 mm dicken Kupferstäbe dargestellt.

Die nominelle Leistungsfähigkeit jeder der soeben besprochenen

[4]) Vergl. auch James Dredge, El. Illumination vol. I p. 266.

Dampfdynamos ist auf 1200 Glühlampen (à 16 Norm. Kerzen) veranschlagt, jedoch behauptet Mr. C. L. Dean[5]), Inspector der Edison-Maschinenwerke eine Maximalleistungsfähigkeit von 1750 Lampen (?).

Was zum Schluss die technische Ausführung der Maschinen anlangt, so möge nur noch bemerkt werden, dass dieselben jedenfalls ganz ausgezeichnet gearbeitet sind, wenn auch auf die rein äusserliche Arbeit wie bei den meisten amerikanischen Maschinen verhältnissmässig geringes Gewicht gelegt und wenig Mühe aufgewendet ist. Hingegen zeichnen sich alle wesentlichen Theile durch eine höchst sorgfältige und exacte Arbeit aus. Vor allem ist die rotirende Armatur trotz ihres grossen Gewichtes vorzüglich abbalancirt. Als Curiosum sei erwähnt, dass eine der Dampfdynamos 17 Tage und 17 Nächte hintereinander, ohne einen Augenblick anzuhalten, im Gang erhalten worden ist, was ohne Zweifel ein Zeichen der hohen Vollendung ihrer technischen Ausführung ist. Ob aber ein solcher, viele Tage hindurch unausgesetzt fortgesetzter Betrieb einer Maschine zumal bei deren hoher Tourensahl (350) pro Minute Billigung verdient, ist wohl eine andere Frage; es muss dadurch nothwendiger Weise die Maschine weit mehr abgenutzt werden, als wenn Tag für Tag dieselbe einer genauen Prüfung ihrer Theile unterworfen werden kann.

§ 27. Methode der Strom-Regulirung.

Wie schon bereits im ersten Abschnitt angedeutet, kann der erstrebte Zweck, dass jede der Glühlampen in stets unveränderter Weise genau die gleiche Lichtstärke ganz unabhängig von der Anzahl der sonst im District etwa gerade brennenden Lampen giebt, nur dadurch erreicht werden, dass die Enden des Kohlenbügels der Lampe einen ganz bestimmten Unterschied der elektrischen Spannung d. h. eine ganz bestimmte Anzahl Volt (bei Edison 108 Volt), Potentialdifferenz erhalten. Da nun alle Lampen in paralleler Schaltung (siehe Fig. 15, pag. 42) mit den Hauptleitungen verbunden sind und also der Widerstand zwischen den letztern selbst um so geringer wird, je grösser die Zahl der gleichzeitig brennenden Lampen, so handelt es sich mithin um nichts anderes, als 2 Leiter,

---

[5]) Edison Bulletin p. 100.

welche durch einen variablen Widerstand (repräsentirt durch die jeweilig brennenden Lampen) mit einander verbunden sind, stets auf demselben Unterschied der elektrischen Spannung zu erhalten, eine Aufgabe, die allein dadurch gelöst werden kann, dass man die elektromotorische Kraft der Elektricitätsquelle (d. h. der Dynamomaschine) je nach Bedarf vergrössert, constant hält, oder verkleinert.

Dieses — und es ist das einer der wesentlichsten Punkte der praktischen Beleuchtung — bewirkt nun Edison bei seinen Maschinen dadurch, dass er in die Drathumwindung der Erregungsmagnete Widerstand einschaltet. Je grösser der hier eingeschaltete Widerstand ist, um so geringer wird der Bruchtheil des Gesammtstromes sein, welcher zur Erregung der feststehenden Magnete der Maschine verwendet wird, d. h. um so schwächer wird mithin der Magnetismus jener sein. Von letzterem aber hängt wieder — unter sonst gleichen Bedindungen d. h. bei ungeänderter Umdrehungs-Geschwindigkeit der Maschine und bei ungeänderter Zahl der Drathwindungen der Armatur — die elektromotorische Kraft der Maschine selbst ab. Das heisst, man hat, um die Stärke des „inducirenden“ Magnetismus zu verändern, eine dem jeweiligen Bedarf an Elektricität entsprechende Aenderung in dem Widerstand der Umwindungen der Erregungs-Magnete vorzunehmen.

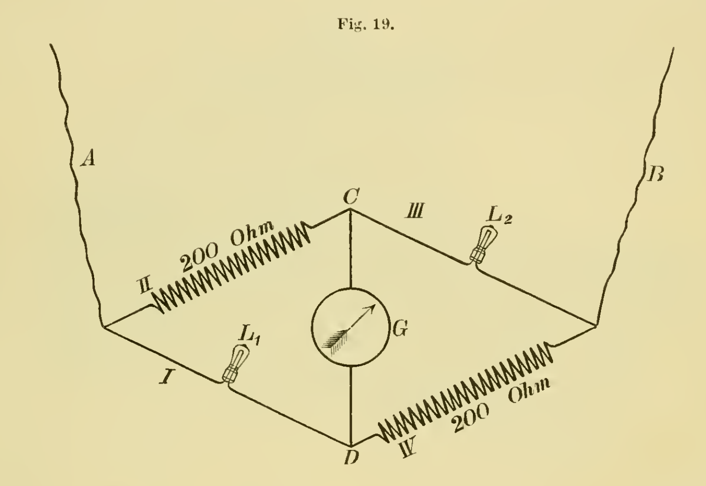
Es entspricht dieses Verfahren der Regulirung eines Flüssigkeitsstromes durch Verändern des Querschnittes der Rohrleitung. Ebenso nämlich wie durch Querschnittsvergrösserung eines Wasserrohres die Ausflussmenge desselben zunimmt, so wächst hier die Intensität des erregenden Stromes in Folge der Verringerung des Widerstandes, wodurch dann das magnetische Feld an Stärke gewinnt und sich die elektromotorische Kraft der Maschine[1]) vergrössert.

Die zur Regulirung in der eben besprochenen Weise dienenden Apparate sind in einem dem Dynamomaschinenraum benachbarten aufgestellt. Um zu erkennen, ob alle Lampen eine passende Menge Strom erhalten und demgemäss die gewünschte Lichtintensität ausgeben, hat Edison ein eben so einfaches wie sinnreiches Verfahren benutzt, welches aus beistehender Figur 19 leicht ersichtlich ist. Von den Hauptleitungen aus gehen 2 Dräthe A und B zu

[1]) Das Edisonlicht, Berlin bei Büxenstein, p. 18.

einer aus 4 Stücken *I, II, III, IV* bestehenden, sog. verzweigten Leitung. In die Zweige *I* und *III* derselben ist je eine Edison-sche Glühlampe, in die Leitungen *II* und *IV* ein metallischer Widerstand von je 200 Ohm eingeschaltet. Die Punkte *C* und *D* sind ausserdem durch eine Drathleitung mit einander verbunden, welche noch das Galvanometer *G* enthält. Einem bei elektrischen Messungen vielfach verwendeten Gesetze zufolge findet, wenn einem derartigen Leitersystem von *A* und *B* aus Elektricität zugeführt wird, in nur einem einzigen Falle in der die Punkte *C* und *D* verbindenden Drathleitung keine Elektricitätsströmung statt, nämlich nur dann, wenn die Producte der Widerstände in den einander gegenüberliegenden Zweigen *I* mal *III* und *II* mal *IV* einander

Fig. 19.



gleich sind (Wheatstone'sche Regel). Edison hat nun wegen der Eigenschaft der Kohle, ihren elektrischen Leitungswiderstand mit der Temperatur sehr erheblich zu verändern und zwar, abweichend von den Metallen, mit steigender Temperatur besser leitend zu werden, in 2 Zweige der in Fig. 19 dargestellten Leitung je eine seiner Glühlampen eingeschaltet. Führen nun die Zuleitungsdräthe *A* und *B*, welche an passende Stellen der Hauptleitungen angeschlossen sind, zu viel Strom zu, so werden die Lampen L_1 und L_2 in Folge des stärkeren sie durchfliessenden Stromes heisser (gleichzeitig also auch sämmtliche Lampen im ganzen District), ihr Widerstand wird in Folge der höheren erreichten Temperatur kleiner, daher

auch der Widerstand *I* mal *III* kleiner als der der beiden anderen Zweige *II* und *IV*, und dieses zeigt sich sofort an dem nun erfolgenden Ausschlag der Galvanometernadel *G*. Dasselbe nur im umgekehrten Sinne hat statt, wenn die Hauptleitungen zu wenig Strom zuführen. Der Sinn des Ausschlages der Galvanometernadel zeigt dem betreffenden Ingenieur, dessen ausschliessliche Aufgabe es ist, fortdauernd das Galvanometer zu beobachten, sofort an, ob er Widerstand in die Erregungsmagnetdräthe ein- oder auszuschalten hat, und sobald die Galvanometernadel dadurch wieder auf ihre ursprüngliche Nullstellung zurückgebracht ist, weiss er, dass nun wieder gerade der richtige Strom, der ein 16-Normal-Kerzen starkes Glühen der Kohlenfaser hervorbringt, sämmtliche Lampen durchfliesst.

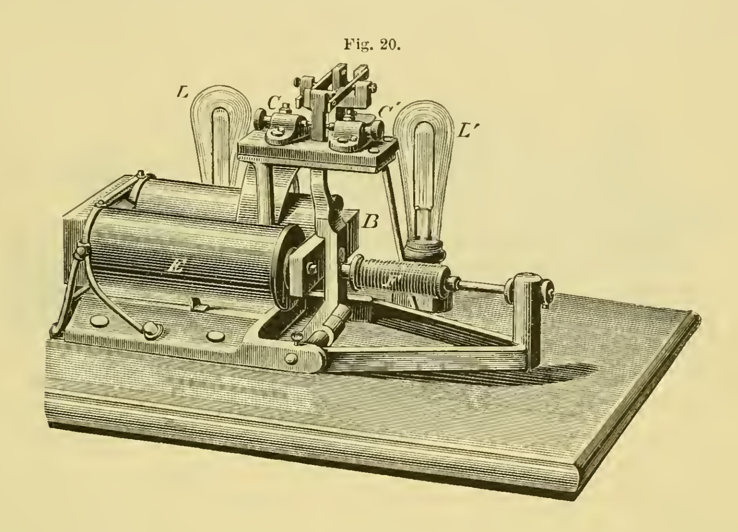
Bevor wir zu den Regulirvorrichtungen (Widerstandsregulatoren) übergehen, mag hier ein Apparat zunächst erwähnt werden, dessen Zweck es ist, lediglich als Signalgeber für die Fälle zu dienen, in welchen der Strom nicht die erforderliche Intensität hat.

§ 28. Edison's Indicator.

Die beistehende Figur 20 zeigt einen solchen, ebenso in Stations- wie bei Einzelanlagen verwendeten, Edison'schen Apparat, der als Anzeiger, ob der durch die Lampen fliessende Strom die richtige Intensität habe oder nicht, dient. Seine Wirkung beruht auf Folgendem: Der von dem einen Hauptstrang der Leitung herkommende elektrische Strom durchläuft zunächst einige (gewöhnlich 4) hintereinandergeschaltete unterhalb der Bodenplatte beistehenden Apparates befindliche Glühlampen, durchläuft dann den Drath des Elektromagneten *E*, welch letzterer nun den um die Axe *A* drehbaren, eisernen Anker anziehen wird. Dieser Anziehung entgegen wirkt die Spiralfeder *F* und es wird derselben vermittels der Schraube *S* eine derartige Spannung ertheilt, dass — wenn der durch die Lampen fliessende Strom gerade seine richtige Stärke hat — nun der verticale, den Anker tragende Arm mitten zwischen den beiden Contactspitzen *C* und C_1 spielt und keine von beiden berührt. Fällt resp. steigt nun etwa die Stromstärke mehr, als gut ist, so wird die ziehende Kraft der Feder überwiegen resp. umgekehrt. Dadurch wird offenbar entweder der Contact C_1 oder im anderen Falle *C* geschlossen, und somit eine der beiden mit diesen 2 Con-

tacten verbundenen Glühlampen L_1 oder L eingeschaltet und beginnt zu glühen. Gleichzeitig wird eine mit jedem der beiden Contacte C und C_1 stehend verbundene elektrische Klingel in Gang gesetzt und so die Aufmerksamkeit des Wartepersonals auf den Indicator gelenkt. Je nachdem nun die eine resp. die andere der beiden für gewöhnlich also nicht brennenden Lampen, die auch äusserlich durch die grüne resp. rothe Farbe des zur Lampe verwendeten Glases gekennzeichnet ist, zu leuchten beginnt, hat dann mehr oder weniger Widerstand in die Drathumwindung der Erregungsmagnete eingeschaltet zu werden. Sobald dies geschehen und weder die eine noch die andere der beiden Lampen L_1 und L mehr

Fig. 20.



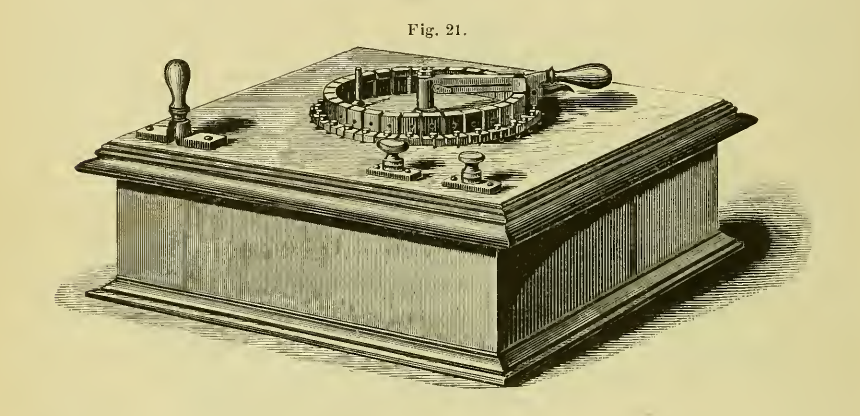
glüht, hat der die einzelnen Glühlichter der Beleuchtungs-Anlage durchfliessende Strom wieder genau seine richtige Intensität. Auf eben dasselbe Princip hat Edison einen sehr gut wirkenden selbstthätigen Widerstandsregulator gegründet, der weiter unten (pag. 108) besprochen werden soll.

§ 29. Edison's Apparate zur Strom-Regulirung.

Wir gehen nun zu den bereits zuvor begonnenen Erörterungen bezüglich der zur Stromregulirung der Edison-Maschinen dienenden Einrichtungen zurück.

Der zum Einschalten von Widerstand in die Umwindungsdräthe der erregenden Elektromagnete der Dampfdynamos dienende (vergl. pag. 67) Widerstands-Regulator besteht — analog dem in Fig. 21 dargestellten, für kleinere Maschinen bestimmten — aus einer Zahl von Neusilberdräthen von passender Dicke und Länge, deren Enden mit Contact-Stücken, die kreisförmig auf dem Deckel eines Holzkastens angeordnet sind, in Verbindung stehen. Durch Drehen einer Kurbel, die auf den eben erwähnten Contactstücken (vergl. Fig. 21) schleift, kann je nach Bedarf mehr oder weniger Widerstand eingeschaltet werden. Wie behauptet wird, soll das Hinzu- oder Ausschalten von $^1/_8$ Ohm des Regulators genügen, um diejenige Störung wieder aufzuheben, welche ein etwaiges Auslöschen oder Entzünden von

Fig. 21.



50 Glühlampen hervorbringt. Der zu jeder der Dampfdynamos zugehörige Widerstands-Regulator hat in Summa 8 Ohm Widerstand[1]).

Ausser diesen Apparaten befinden sich dann noch auf der Station eine Vergleichs-Batterie von 100 kleinen Daniell'schen Elementen, um die elektrische Spannung an den Polen der Dynamomaschinen zu messen, ferner eine Reihe von 1000 Glühlampen, die gemeinschaftlich auf einem Rahmwerk montirt sind und als Versuchslampen dienen, und einige andere Messapparate (Photometer, Galvanometer, etc.), deren Verwendung aus dem Nachfolgenden hervorgehen wird.

---

[1]) Ueber die Art des Einschaltens von Widerstand vergl. p. 74.

Um zunächst auf der Station selbst ein angenähertes Urtheil über die Zahl der jeweilig brennenden Lampen zu haben, ist in die Hauptleitung resp. in eine Abzweigung derselben noch ein Galvanometer eingeschaltet. Wie schon bemerkt, erfordert jede der im Edison'schen District I in New York verwendeten sog. A-Lampen 0,77 Ampère Strom; der die Hauptleitung durchfliessende Strom wird daher eine um so grössere Intensität haben, daher auch in dem eben erwähnten Galvanometer einen um so grösseren Ausschlag der Magnetnadel erzeugen, je grösser die Zahl der gerade brennenden Lampen ist, und es ist deshalb unter der Nadel eine Eintheilung angebracht, derart, dass die Ablesung der Nadelstellung direct die Anzahl der brennenden Lampen wenigstens angenähert richtig angiebt. Diese Ablesungen haben insofern besonderen Werth, als der die Station leitende Ingenieur daraus ersehen kann, ob es erforderlich ist, zu den bereits im Gang befindlichen Dampf-Dynamos noch eine neue hinzuzunehmen, da eben jede derselben nur für circa 1200 Lampen (à 16 N. K.) ausreichend ist. Da ferner den Tag über der Bedarf an elektrischem Licht nur ein sehr geringer ist, so ist für gewöhnlich immer nur eine der 6 Maschinen im Gange und erst gegen Abend werden neue hinzugenommen. Dieses Hinzunehmen von Maschinen hatte Anfangs sehr grosse, jedoch von Edison bald überwundene Schwierigkeiten gemacht; dieselben hatten den Grund, dass es nur dann möglich ist verschiedene Dynamomaschinen ohne gegenseitige Störung in paralleler Schaltung mit einander zu verbinden, wenn alle diese Maschinen genau die gleiche elektromotorische Kraft an ihren Polklemmen zeigen. Ist dies aber nicht der Fall, so wird offenbar aus der kräftigeren Maschine ein Theil des Stromes in die schwächere fliessen, den Magnetismus von deren Erregungselektromagneten dadurch schwächen, ev. umkehren und schliesslich die Maschine sogar in umgekehrter Richtung zum Rotiren[2]) bringen. Jetzt lässt Edison beim Hinzuschalten von neuen Maschinen zu den bereits im Gange befindlichen stets so verfahren, dass, wenn beispielsweise 2 Maschinen gegenwärtig 1600 Lampen treiben und eine weitere dritte Maschine hinzugeschaltet werden soll, diese letztere zunächst in

---

[2]) Umkehr der Rotations-Richtung tritt nur bei „reinen Dynamo"-, aber nicht bei den Nebenschluss-Maschinen ein.

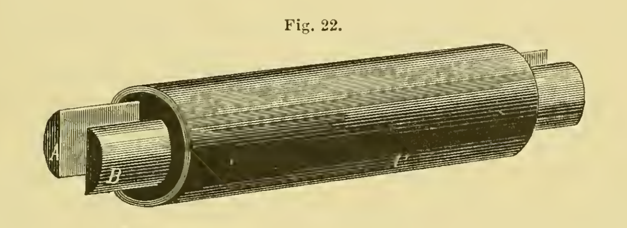
diesem Falle mit der halben Zahl, also mit 800 der oben erwähnten auf der Station befindlichen 1000 einander parallel geschalteten Versuchslampen allein verbunden und ihr eine solche Rotationsgeschwindigkeit ertheilt wird, dass die 800 Lampen vorschriftsmässig glühen. Ist dies geschehen, so kann nun, ohne dass Schwierigkeiten irgend welcher Art auftreten könnten, die Verbindung der Maschine III mit den Maschinen I und II, sowie die der Lampen hergestellt werden, da doch offenbar jede in diesen Momente den für je 800 Lampen erforderlichen Strom liefert. Man hat demnach nunmehr 2400 Lampen, die durch 3 Maschinen getrieben werden, d. h. dasselbe Verhältniss wie vorher, als 1600 Lampen vermittels zweier Dynamos betrieben wurden und es kann deshalb auch kein Flickern oder unruhiges Brennen der Lampen im Moment der Zuschaltung der dritten Maschine erfolgen. (Analog würde, falls etwa zu 3 Maschinen, die gerade 3000 Lampen etwa der Annahme gemäss brennen mögen, eine neu hinzuzunehmende vierte Maschine zunächst mit dem dritten Theil von 3000 also mit 1000 der Versuchs-Lampen zu verbinden sein und erst, wenn diese richtig brennen, die Hinzuschaltung der Maschinen zu den übrigen herzustellen sein u. s. f.) Nachdem das geschehen, so werden nun nach einander mehr und mehr von den Versuchslampen ausgelöscht und durch allmäliges Hinzuschalten von Regulatorwiderstand die elektromotorische Kraft aller 3 Maschinen in der Art abgeschwächt, dass die Lampen die richtige Anzahl Normalkerzen behalten. Hiernach erkennt man nun auch, dass es stets nothwendig ist, die Einschaltung von Widerstand in die Elektromagnete der Dampfdynamos stets bei allen Maschinen gleichzeitig und in gleicher Weise vorzunehmen; es geschieht dies dadurch, dass der drehbare Theil Fig. 21 (pag. 72) sämmtlicher 6 zu den 6 Dampfdynamos der New Yorker Station zugehörigen Widerstands-Regulatoren vermittels einer Welle und daran befestigten Kronrädern mit einander in der Art verbunden ist, dass ein Drehen an der Kurbel dieser Welle stets gleichzeitig die gleichen Widerstände für jede der 6 Dampfdynamos einschaltet und so bei allen im Gang befindlichen Maschinen (die sämmtlich von gleichen Dimensionen sind) stets die Intensität des inducirenden Magnetismus und dadurch auch die elektromotorische Kraft aller Maschinen gleichzeitig in gleicher Weise vermehrt oder vermindert.

§ 30. Die Zuleitungs-Kabel, deren Fabrikation.

Nachdem wir im Vorhergehenden eine genaue Erörterung sämmtlicher, die Stationsapparate bildenden Theile des Edison'schen Systems gegeben haben, gehen wir nun zur Erwähnung der unterirdisch geführten Kupferleitungen der Strassen und in den Häusern, der Sicherheitsvorrichtungen, der Lampen u. s. w. über, so wie sie Edison in New-York verwendet hat.

Die Gesammtlänge der Strassenleitungen beträgt dort nahezu 24400 m. Man kann sie sich am besten so angelegt vorstellen, dass jedes Häusercarré des ganzen beleuchteten Districtes von zwei von einander isolirten, in sich zurücklaufenden Kupferleitungen I und II umgeben ist. Die Kupferleitungen I sämmtlicher Carrés sind mit einander und mit dem einen die gleichnamigen Pole der Dampfdynamos verbindenden Hauptstrang verbunden, sämmtliche Kupfer-

Fig. 22.



leitungen II gleichfalls mit einander und mit dem anderen Hauptstrang. Wir erhalten so gleichsam zwei neben einander isolirt verlaufende Metalldrathnetze, von denen ein jedes ein sich metallisch geschlosssenes Ganze bildet und den einen resp. den anderen Pol der Dynamomaschine repräsentirt. An welcher Stelle wir nun auch eine Verbindung beider durch Dräthe, die zu elektrischen Lampen führen, herstellen mögen, immer werden wir einen Strom in letzteren, also deren Glühen erhalten. Wie die Verbindung beider Kupferleitungssysteme mit den Stationsmaschinen hergestellt wird, soll weiter unten auseinander gesetzt werden, und zunächst nur das Strassenleitungssystem selbst betrachtet werden.

Die dazu dienenden Zuleitungen bestehen aus dicken Kupferstäben, deren Querschnitte Kreissegmente bilden. Fig. 22 giebt eine Abbildung derselben. *A* und *B* sind die halbmondförmigen

Kupferstäbe, beide sind von einander isolirt und durch eine Zahl ausgestanzter Pappscheiben in gleicher Entfernung von einander und von der Wand der sie als Schutz umgebenden Eisenröhre gehalten. Die Herstellung dieser Zuleitungsröhren — sie werden in der dem Mr. Krüsi aus St. Gallen unterstellten „Edison Electric Tube Co.", New York, 65 Washington St. fabricirt — wird in 6 m langen Stücken vorgenommen. Auf die mit Baumwollenband umwundenen Kupferstäbe werden zunächst die erwähnten Pappscheibchen aufgeschoben, letztere durch Fäden in gleichem Abstand auf ihnen erhalten, dann die Stäbe in die 10 cm kürzeren Eisenröhren eingelegt, die Enden dieser auf einer Seite durch eingekeilte Holzpfropfen, durch die die Kupferstabenden hindurchgehen, vollkommen verschlossen, vom anderen Ende aus die Röhren vermittels einer zweistiefligen Luftpumpe, die mittels Dampf betrieben wird, luftleer gepumpt und nun eine geschmolzene, hauptsächlich aus Asphalt bestehende Isolationsmasse zunächst durch den atmosphärischen Luftdruck eingefüllt, nachher durch eine Druckpumpe (100 Pfund pro □zoll) nachgepresst. Um dabei der starken Zusammenziehung der Isolationsmasse beim Abkühlen und Erstarren Rechnung zu tragen und das ganze Rohr gefüllt zu erhalten, wird auf jede der Röhren vor dem Füllen ein 50 bis 60 cm langes Verlängerungsstück, das also gleichfalls mit Isolirmasse sich füllt, aufgeschraubt, welches nach dem Erstarren der Masse wieder abgenommen werden kann. Die Prüfung der Leitungsröhren hinsichtlich ihres Isolationsvermögens geschieht mittels eines Thomson'schen Galvanometers[1]) (von 200 Drathwindungen, 6000 Ohm Widerstand) in directem Stromkreis. Alle Röhren, welche so untersucht einen kleineren Widerstand als 150000000 Ohm zeigen, werden verworfen und wieder auseinander genommen. — In ganz ähnlicher Weise, wie eben angegeben, werden die neuerdings von Edison benutzten, je

---

[1]) Der Messraum liegt in der nach der Greenwich-Str. zu gelegenen Seite des Fabrikgebäudes, und da hier die IX. Avenue-Hochbahn vorbeigeht und so bei jedesmaligem, alle Paar Minuten erfolgendem Vorbeifahren eines Eisenbahnzuges die Nadel des Galvanometers ablenken würde, so ist dieses nach Sir William Thomson's Angabe in 3 concentrisch zu einander stehende, 1 cm dicke, 10 cm hohe, weiche Eisenringe gesetzt und auf diese Weise vor äusseren magnetischen Kräften geschützt (vergl. p. 38 o.).

drei runde Kupferstäbe enthaltenden Leitungsröhren hergestellt, nur dass hier an Stelle der ausgestanzten Pappscheibchen dicke, in weiten Windungen auf jeden der Kupferstäbe aufgewundene Bindfäden zum Getrennthalten der Stäbe treten.

Die zu den Leitungen zu verwendende Dicke der Kupferstäbe berechnete Edison so, dass pro □Millimeter Leitung 2 bis 3 Ampère Strom kommen und machte dabei die — jedenfalls wohl für unsere Verhältnisse zu niedrig gegriffene — Annahme, dass von allen im District eingerichteten Lampen immer nur etwa der fünfte Theil gleichzeitig gebraucht werden wird.

§ 31. Anlage des Kabelnetzwerkes in New York.

Das Legen der Leitungsröhren in den Strassen geschieht stets 0,6 m tief.

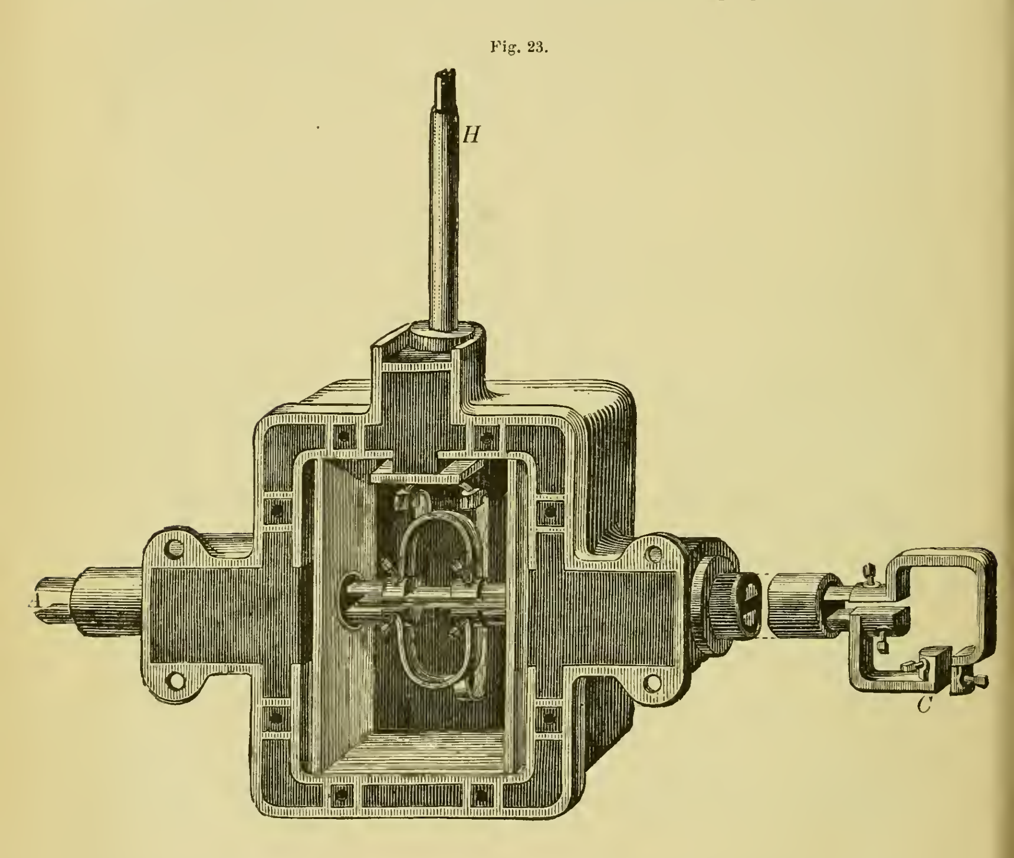
Nach Edison's Angaben (Edison Bülletin No. 16 Seite 34 resp. 278, 2. Februar 1883) soll der durchschnittliche Preis der Strassenleitungen 60 Mark pro 25—30 Fuss betragen (?).

Zur Verbindung der Kupferstäbe der einzelnen Hauptröhren dienen aufgeschraubte, hufeisenförmig gebogene Rothgussbügel oder für dünnere Leitungsstränge auch Kupferseile, um so der verschiedenen Wärmeausdehnung des äusseren Eisenrohres und der kupfernen Leitungsstäbe Rechnung zu tragen. Die Verbindungsstelle selbst wird in einen sogenannten Verbindungskasten gelegt, dessen Deckel nachträglich mit Isolationsmasse zugegossen wird. Fig. 23 zeigt einen solchen Verbindungskasten und gleichzeitig die Art der Verbindung der Hauptleitungen *A* durch die hufeisenförmigen Kupferbügel mit einander, ferner die Art des Anschlusses letzterer an die Hausleitung *H* und die für rechtwinklige Strassenabzweigungen dienenden Verbindungsbügel *C*. Für die Verbindungen kleinerer Kabel, so wie für die der Zimmerleitungen mit den Hausleitungen dienen kleinere ähnliche Verbindungskästen (Fig. 24). In einige solcher Verbindungskästen, z. B. in die an den Ecken eines Häusercarrés aufgestellten, sind sogenannte Sicherheitsdräthe eingeschaltet.

§ 32. Sicherheitsdräthe (Bleischaltungen).

Dieselben bestehen aus einer Legirung von 60% Blei und 40% Zinn, dienen als Schutzvorrichtung und sollen vermeiden, dass ein zu starker Strom durch die betreffende Leitung geschickt wird.

Fig. 23.



Ihre Dicke variirt je nach der Stromstärke, für welche die betreffende Leitung dienen soll, ihre Länge darf nicht gar zu kurz, kann im Uebrigen aber beliebig gewählt werden.

Edison giebt bezüglich der zu verwendenden Drathdicke folgende Tabelle[1]) auf Grund experimenteller Versuche:

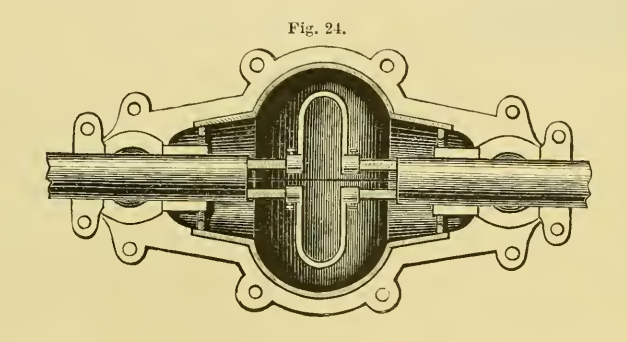
---

[1]) Edison Bülletin 1882 No. 1 p. 4.

Durchmesser mm	Anzahl der A-Lampen (à 16 N. K.)
0,51	3
0,81	6
1,07	9
1,24	12
1,65	15
2,16	20—25
2,41	30—35
2,82	40—45
3,05	55—60

Die Drathdurchmesser sind so gewählt, dass der Drath in dem Falle schmilzt und den Strom dadurch selbstthätig unterbricht, wenn ein doppelt[2]) so starker Strom durch ihn hindurchgeleitet

Fig. 24.



wird, als zum regulären Betriebe der in Columne 2 angegebenen Zahl von Lampen erforderlich ist. Ein solches übermässiges Anwachsen des Stromes kann übrigens naturgemäss nur dann eintreten, wenn in der Leitung irgend etwas in Unordnung gekommen ist, und es sind aus eben diesem Grunde, um sofort über die Lage der fehlerhaften Stelle orientirt zu sein, auch — wie bereits erwähnt — an jeder Ecke eines Häusercarrés in die Hauptleitung derartige, natürlich entsprechend dickere Sicherheits-Dräthe oder -Streifen eingelegt.

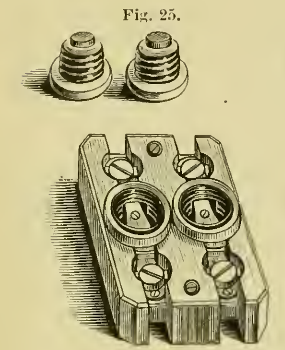
Für das Innere der Häuser verwendet man der Bequemlichkeit

---

[2]) „Das Edisonlicht“, 1882, gedr. v. Büxenschütz, Seite 30.

des Auswechselns wegen sog. Sicherheitsstöpsel (Fig. 25), d. h. kleine, den Bleidrath enthaltende Stöpsel aus unverbrennlicher Masse, die mit Kupfercontacten, an welche der Sicherheitsbleidrath angelöthet ist, versehen sind, so dass das Einschrauben dieser Stöpsel in die dazu bestimmten Schraubengewinde das Einschalten des Sicherheitsdrathes in einfachster Weise ermöglicht.

Fig. 25.



Diese Vorrichtungen sind für das Innere der Häuser von besonderem Werthe insofern, als sie hier nicht blos zum Schutz für die Leitung und die Lampen, sondern auch — und darin beruht ihr Hauptwerth — zur Sicherung gegen etwaige Feuersgefahr dienen. Denn angenommen, dass aus irgend welcher Ursache ein directer Contact der Hin- und Rückleitung an einer Stelle entstände, so würde durch diese Kurzschaltung der dem Strom entgegengesetzte Widerstand nun viel geringer als vorhin sein, wo der Strom den Widerstand der Lampen zu überwinden hatte — und die Intensität des Stromes könnte nun leicht bis zu einer gefahrdrohenden Erhitzung der Leiter anwachsen, wenn nicht hier und da Sicherheitsbleidräthe eingeschaltet wären, die so gewählt sind, dass sie bei einer Stromstärke bereits schmelzen und hierdurch den ganzen Strom schon dann unterbrechen, wenn er lange noch nicht intensiv genug ist, um etwa die Umgebung der Zuleitungen zu entzünden.

Da die Durchmesser der Sicherheitsdräthe der in die betreffende Abzweigung der Leitung eingeschalteten Lampenzahl entsprechend gewählt werden, so ist klar, dass den Lampen niemals Strom zugeführt werden kann, ohne dass dieser zuvor eine der erwähnten Bleischaltungen durchfliesst. Schmilzt nun in Folge von zu starken Strömen bei aussergewöhnlichen Umständen ein Sicherheitsbleidrath durch, so erlöschen zwar die in der betreffenden Abzweigung befindlichen Lampen, aber der gesammte übrige Theil der Anlage bleibt vollkommen unversehrt. In solchen Fällen ist es hiernach leicht, die Ursache der localen Störungen zu ermitteln, den Fehler auszubessern und dann durch Einschrauben eines neuen Sicherheitsdrathes den betreffenden Theil der Anlage wieder in Betrieb zu setzen.



Edison-District I in New-York.

§ 33. Hauptkabel zur Verbindung der Station mit dem Strassennetz.

Die Art der Zuführung der Elektricität von den Dynamomaschinen der Station zu dem Kupferleitungsnetzwerk verdient noch besondere Erwähnung. Wollte man etwa nur 2 Punkten desselben Elektricität zuführen, so würden wir an diesen Punkten einen gewissen elektrischen Spannungsunterschied haben, in grösserer und grösserer Entfernung davon aber kleinere und kleinere. In Folge davon würden auch die Lampen in grösseren Entfernungen von den Zuführungsstellen kleinere Lichtstärke zeigen als nahe diesen. Deshalb hat Edison es so eingerichtet, dass er seinem Leitungsnetz in New York an 20 verschiedenen Stellen Elektricität zuführen kann, und um dabei eine überall möglichst gleichmässige Vertheilung der Elektricitätszufuhr zu erzielen, sind die Zuleitungskabel dicker und dicker gewählt, je länger sie sind, so zwar, dass ihre Querschnitte den betreffenden Längen der Kabel direct proportional sind. Die Grössenverhältnisse sind die folgenden:

Anzahl der Zuleitungen der betr. Sorte	Anschlussstellen auf beigelegtem Plan[1]) Taf. I	durchschnittliche Länge	Querschnitt
6	No. 1, 2, 5, 7, 8, 14	514 m	657 qmm
4	„ 9, 3, 6, 15	402 „	442 „
4	„ 4, 12, 16, 17	319 „	340 „
4	„ 10, 11, 13, 20	243 „	250 „
2	„ 18, 19	81 „	133 „

Die Anschlussstellen dieser Zuleitungen[2]) an das Leitungs-Netzwerk der Strassen sind auf Tafel I mit den Ziffern 1 bis 20 bezeichnet und sind der Anzahl der Lampen in den betreffenden Theilen des beleuchteten Districtes entsprechend vertheilt. Um dieses thun zu können, lässt Edison bei neu einzurichtenden Beleuchtungs-Anlagen stets zunächst statistische Aufnahmen über die bisherige Zahl der in den Häusern und den Strassen verwendeten Gasflammen machen und richtet hiernach seine Zuleitungen ein.

[1]) Bei St. befindet sich das Edison-Stationsgebäude. Die kleinen weissen Punkte auf der Taf. I deuten die Lampen der Abonnenten an.

[2]) Der Preis des Kupfers dieser in New York verwendeten 20 Zuleitungen allein beträgt über 90 000 Mark.

Die nachstehende Tabelle giebt die Querschnitte der gewöhnlich verwendeten Kupferzuleitungen und die Durchmesser des sie umhüllenden Eisenrohres an:

No.	Querschnitt jedes Kupferstabes	Aeusserer Durchmesser des Rohres
1	830 qmm	82 mm
1¼	657 „	
1½	598 „	76 „
2	443 „	70 „
2½	340 „	65 „
2¾	244 „	58 „
3	133 „	51 „
4	92 „	48 „
5	54 „	33 „
6	33 „	33 „
7	16 „	28 „

Die Dimensionen selbst der stärksten dieser Zuleitungen sind, wie man bemerkt, doch noch immer sehr klein im Vergleich mit den zu Gasbeleuchtungen dienenden Leitungsröhren, das Legen derselben erfordert deshalb auch bei Weitem nicht so viele Erdarbeit als dort. Die Haupt-Zuleitungskabel selbst sind im Allgemeinen ähnlich den in Fig. 22 (Seite 75) dargestellten Strassenkabeln, sie unterscheiden sich von diesen aber dadurch, dass ausser den beiden dicken Kupferzuleitern noch 2 dünne Dräthe die ganze Länge hindurch isolirt geführt sind. Jeder derselben ist mit je einem Ende der dicken Kupferzuleiter an deren Anschlussstelle an das Leitungsnetzwerk verbunden, während die anderen Enden der erwähnten dünnen Dräthe in den Messraum des Stationsgebäudes geführt sind, um mit Hülfe der auf Seite 72 erwähnten kleinen Vergleichs-Batterie Daniell'scher Elemente ein Messen der an den Anschlussstellen der Zuleitungen herrschenden elektromotorischen Kraft zu gestatten. Derartige Messungen werden täglich mehrmals dort vorgenommen. Selbstverständlich sind nicht etwa stets alle Zuleitungsstellen stehend mit dem die Pole der Dynamomaschinen verbindenden Hauptsträngen verbunden, sondern sie werden erst dem der Tages- oder Nachtzeit entsprechenden Bedarf gemäss an dieses angeschlossen.

Als Beispiel der eben erwähnten Messungen diene folgende kleine Tabelle:

New York, 20. August 1883.

Elektromotorische Kraft an der Central-Station: 109,5 Volts.

Elektromotorische Kraft an den Enden der Haupt-Zuleitungskabel.

No der Anschlussstelle	Elektromotor. Kraft in Volts	No. der Anschlussstelle	Elektromotor. Kraft in Volts
1	107	11	—
2	107,7	12	107,9
3	—	13	—
4	107,9	14	107,9
5	108,9	15	108
6	107,9	16	108
7	108,1	17	—
8	107,9	18	—
9	107,8	19	—
10	107,9	20	107,8

NB. No. 3, 11, 13, 17, 18, 19 waren nicht an die Leitung angeschlossen. Die Nummern beziehen sich auf die in Taf. I angegebenen.

Anm. Eine andere als die eben besprochene Anordnung der Leitungen, um die Elektricität von der Stromquelle an die Verwendungsstelle zu leiten, ist die folgende[3]) (D. R.-P. No. 17949 vom 14. November 1880). Edison schlägt nämlich die in beistehender Figur dargestellte Anordnung vor, um die Spannung in allen Theilen der Leitung möglichst gleichmässig zu erhalten. Um die Centralstelle *CS*, welche die Stromquelle enthält, sind eine Anzahl Leitungsstränge 1, 2, 3, . . . so zu sagen concentrisch gelegt, die der allgemeinen Disposition der Häusercarrés und Plätze angepasst sind. Diese Leitungsstränge sind durch eine Anzahl Zuleitungen a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2 mit der Centralstelle verbunden, so dass, wenn eine Verwendungsstelle weiter ab von der einen Zweigleitung liegt, sie dagegen in der Nähe einer anderen sich befindet. Entsprechend der wachsenden Entfernung von der Centralstelle und der damit verbundenen grösseren Länge der Leitung nimmt auch der Quer-

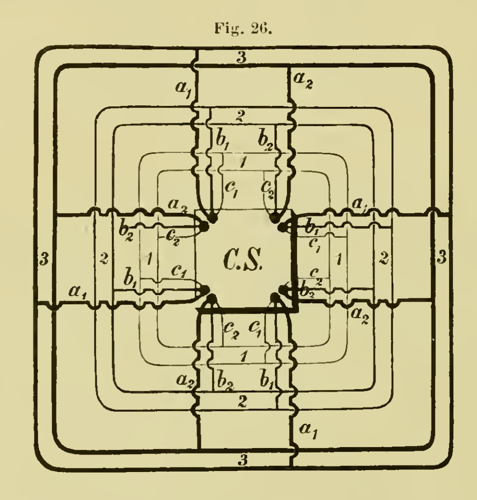
[3]) Elektrotechn. Z. III p. 248, 1882.

schnitt der Leitungsstränge nach aussen hin zu. Ausserdem können auch die Leitungsstränge noch unter einander durch eine Anzahl Verbindungsleitungen verbunden sein.

§ 34. Herstellung der Edison-Lampen.

Die in New York im District I von Edison verwendeten Lampen sind ausschliesslich solche von 16 resp. 8 Normal Kerzen Lichtstärke. Erstere werden als A-, die letzteren als B-Lampen bezeichnet. Beide erfordern etwa $^3/_4$ Ampère Strom zu ihrem Betriebe, und da die B-Lampen nur den halben Widerstand der A-Lampen

Fig. 26.



haben, so können sie nicht anders zur Verwendung kommen als zu je zweien hintereinander geschaltet, so dass man an Stelle einer A-Lampe stets zwei B-Lampen einschalten kann, was allerdings den Vortheil noch weiter gehender Lichttheilung, aber dafür den Nachtheil hat, dass das Auslöschen der einen auch das Verlöschen der anderen B-Lampe nach sich zieht. Der Widerstand der A-Lampen ist 140 Ohm[1]), der der 8-kerzigen B-Lampen etwa 69 Ohm.

Die Herstellung der Glühlampen ist eine ausnehmend schwierige, und es ist kein Zweifel, dass hier gerade noch die meisten Verbesserungen werden zu machen sein. Die Edison'sche Glüh-

[1]) Die Angaben bezeichnen stets den Widerstand der heissen Lampen.

lampenfabrik befand sich früher in Menlo Park, ist aber nun schon seit dem April 1882 nach East Newark verlegt, während alle anderen Edison zugehörenden Fabriken in New York selbst sich befinden. Zu den Kohlenfasern seiner Lampen verwendet Edison ausschliesslich Bambus und bezieht dies Material direct aus Japan in Form von 4 mm breiten, 1 mm dicken und etwa 25 cm langen, aus der Rinde des Bambus ausgeschnittenen Stäbchen. Die Verarbeitung dieser Rohstäbchen geschieht vermittels hobelartiger Instrumente, durch welche der härteste, in seiner Structur gleichartigste Theil von 0,2 mm Dicke herausgehobelt wird. Diese dann etwa nur noch 3 mm breiten Spähnchen werden darauf weiter in ganz dünne Bambusfasern von rechteckigem Querschnitt (0,2 mm dick, 0,35 mm breit) durch seitliches Abschneiden verwandelt, an deren Enden man aber centimeterlange breitere Stücke stehen lässt. Hierauf werden sie hufeisenförmig zusammengebogen, zu je zweien in kleine aus Kohlenpulver gepresste und mit Kohlenpulver ausgefüllte Kästchen gelegt und in einem Ofen bis zu fast vollständiger Verkohlung erhitzt. Dann herausgenommen, werden ihre stehen gelassenen dickeren Enden in zwei isolirt von einander in einer Glasröhre eingeschmolzene, oben plattgeschlagene Platindräthe eingeklemmt und zum Schluss, um der Verbindungsstelle sicheren Contact zu geben, auf galvanoplastischem Wege an den Einklemmstellen überkupfert. Die so vorgerichtete, die Kohlenfaser tragende Röhre wird nunmehr in das birnförmige Glühlampengefäss eingeschmolzen und die Lampe zum Evacuiren mit einer Sprengel'schen Quecksilberluftpumpe verbunden. Von derartigen, in einfachster Weise construirten Pumpen sind an 300 Stück in der Lampenfabrik Edison's vorhanden; das zu ihrem Betriebe dienende Quecksilber (etwa 3000 Kilo) wird den Pumpen aus einem gemeinsamen Quecksilberreservoir zugeführt und in letzteres durch eine archimedische Schraube ständig wieder zurückgepumpt. Jede der Lampen bleibt 3 Stunden lang evacuirt mit der Luftpumpe verbunden, von Zeit zu Zeit wird durch Hindurchleiten eines elektrischen Stromes die Kohlenfaser zu stärkerem und immer stärkerem Glühen erhitzt, um so 1) eine vollständige Verkohlung zu erreichen und 2) um auch aus ihren Poren alle Luft zu entfernen. Ist das geschehen, so wird zum Schluss die Lampe von der Luftpumpe abgeschmolzen; und sie braucht nun nur noch mit dem Sockel, der die Zuleitung zu der Kohlenfaser

bildet und zugleich zum Einschrauben der Lampe in deren Träger dient, versehen zu werden.

Fig. 27 zeigt die fertige Lampe. Der die Schraube tragende Messingtheil *A* ist mit dem einen, das bei *B* sichtbare (von *A* isolirte) Stück ist mit dem anderen, zu der Kohlenfaser führenden Platinadrath verbunden. Um die Lampe in richtiger Weise in die Leitung einzuschalten, ist nichts weiter nöthig, als dieselbe einfach in den Träger *C* (Fig. 28) einzuschrauben, so dass also ein Auswechseln etwa unbrauchbar gewordener Lampen nur wenige Secunden erfordert. Bei *D* ist eine Contactvorrichtung angebracht, durch deren Umdrehen die Lampe entzündet resp. verlöscht werden kann.

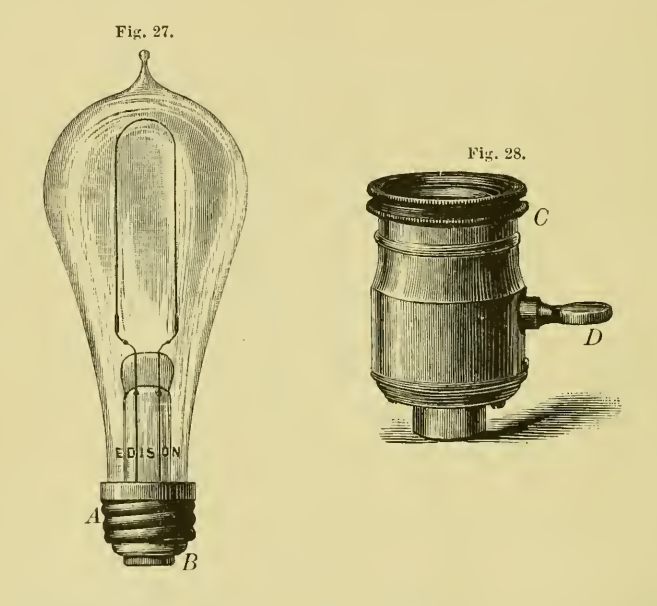


Fig. 27. Fig. 28.

Es bleibt noch einiges hinzuzufügen über die Prüfung der Lampen hinsichtlich ihrer Lichtstärke. Durch die Art der Herstellung der Bambusfaser ist es offenbar bedingt, dass der erstrebte Zweck, lauter genau gleichartige Lampen einer gewissen Sorte herzustellen, sich nie wird erreichen lassen. Es werden daher die Lampen photometrisch geprüft und ermittelt, bei welcher Potentialdifferenz an den Enden der Kohlenfaser sie die gerade gewünschte Lichtstärke ergeben. Dementsprechend werden die Lampen nach der Anzahl der für sie erforderlichen Volts sortirt.

§ 35. Die Edison-Lampenfabrik in Newark.

Die Zahl der von Edison in seiner Fabrik gefertigten Lampen ist sehr erheblich. Die Fabrikation wurde November 1880 in Menlo-Park begonnen, und dort sind auch noch alle für den New Yorker District I dienenden Lampen gearbeitet worden, der Umzug der Fabrik nach East Newark fand April 1882 statt, bis zu welchem Zeitpunkt schon 80 000 Lampen versendet worden waren, während bis zum Juni desselben Jahres weitere 50 000 neue Lampen gearbeitet worden sein sollen. Pro Tag können bei der gegenwärtigen Ausdehnung der Fabrik etwa 1200 Lampen fertig gestellt werden. Nachfolgendes Täfelchen giebt die verschiedenen in der Edison-Lampenfabrik gefertigten Lampen, deren Lichtstärken, Widerstand Verbrauch an Strom und an Kraft u. s. w. an. Als Lebensdauer der Lampen werden 600 Brennstunden von der Companie garantirt, indess ist dies nicht für alle Arten Lampen in gleicher Weise zutreffend, da die Lebensdauer der Lampen in derselben Weise zu-

Lampen der Edison-Lampen-Manufatur.

Januar 19. 1883.

Sorte	Kerzen Stärke N. K.	Widerstand in Ohm	Strom-stärke in Ampère	Elektrom. Kraft in Volt	Fusspfund pro Minute	Fusspfund pro Kerze	Lampen pro Pf. Kr.	Normal-Kerzen pro Pf. Kr.
A	32	86	1.18	102	5332	$166^2/_3$	6.19	198.1
A	16	137	0.745	102	3366	$210^3/_8$	9.804	156.9
A	16	140	.747	105	3475	$217^3/_{16}$	9.5	152
A	16	121	.828	100	3665	$229^1/_{16}$	9.0	144
A	16	103	.92	95	3880	$242^1/_2$	8.5	136
A	10	208	.49	102	2217	$221^7/_{10}$	14.885	148.9
B	8	69	0.745	51	1683	$210^3/_8$	19.61	156.9
B	16	42	1.2	51	2715	$169^{11}/_{16}$	12.15	194.4

nimmt, wie ihre Anzahl pro 1 Pferdekraft abnimmt. Einzelne Lichtanlagen haben eine durchschnittliche Lebensdauer der Lampen von nahezu 3900 Stunden ergeben. Ausser den in obiger Tabelle angegebenen Lampen, fertigt Edison noch solche von 50 und 100 Norm. Kerzen Lichtstärke (bei 110 Volt). Er hat gelegentlich auch wohl Lampen von 500 Ohm Widerstand für 170 Volt Spannung erhalten, indess sind diese bis jetzt nicht mit hinreichender Sicherheit herstellbar, obwohl gerade solche Lampen von ausserordentlich hohem praktischen Werthe sein würden.

§ 36. Lampen von verschiedener und von variirbarer Lichtstärke.

Um Lampen verschiedener Lichtstärke zu erhalten, welche sämmtlich von denselben Zuleitungen aus betrieben werden können, hat man die ausstrahlende Oberfläche und den Widerstand des Kohlenbügels in bestimmter Weise zu verändern. So würde, wenn eine gewisse Lampe unter normalen Verhältnissen ein 16-Normal Kerzen starkes Licht ergiebt, eine an ihre Stelle gesetzte Lampe von der halben strahlenden Oberfläche und dem doppelten Widerstande nur das halbe Licht d. h. 8 Kerzen, eine Lampe von $^1/_4$ der strahlenden Oberfläche und dem 4fachen Widerstand nur $^1/_4$ des Lichts d. h. nur 4 Kerzenstärken ergeben u. s. w.

Die Richtigkeit dieses Satzes leuchtet bei Einführung einer speciellen Annahme sehr leicht ein: Denken wir uns eine Glühlampe die für eine gewisse elektrische Spannung eine bestimmte Lichtintensität ergäbe und nehmen wir an, die Kohlenfaser bestehe aus einem relativ breiten Bande von einer im Verhältniss zu den anderen Dimensionen der Kohle verschwindend kleinen Dicke. Denken wir uns nun nach einander von der Kohlenfaser ihrer ganzen Länge nach Streifen von $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, ... der ursprünglichen Breite abgeschnitten und hieraus neue Lampen hergestellt, so wird die Oberfläche der Kohlenfasern derselben nunmehr auch nur $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, ... sein und bei Anwendung derselben ursprünglichen Spannung die erzeugte Lichtstärke gleichfalls nur $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, ... der ursprünglichen betragen, während die entsprechenden Widerstände 2, 3, 4, ... mal so gross sein würden, als bei der ursprünglich gedachten Lampe.

Was die Anbringung der Lampen in den Wohnhäusern (auf den Strassen in New York findet sich nirgends Edison'sches Glühlicht) betrifft, so ist diese je nach den gerade vorliegenden Bedürfnissen eine sehr verschiedenartige und man muss zugeben, dass in jeder Beziehung eine möglichst vielseitige und zweckmässige Einrichtung den Edison'schen Beleuchtungsapparaten in Gestalt von Kronleuchtern, Wandarmen, Gelenklampen, transportablen Lampen, und Lampen von regulirbarer Lichtstärke gegeben ist. Diese letzteren Lampen enthalten in dem sie tragenden Gestell eine Reihe von verschiedenen Drathwiderständen, die durch Drehen an einem Knopf in den Stromkreis der Kohlenfaser der Lampe mit einge-

schaltet werden können und so durch Veränderung des Widerstandes eine Veränderung der Stromstärke in der Lampenfaser, also ein verschieden starkes Glühen derselben bewirken. Selbstverständlich ist die dann zum Betriebe erforderliche Stromarbeit, also auch der Betriebskostenpreis stets genau der gleiche, wie viel oder wie wenig Licht sie auch ausgeben mag; indess haben derartige Lampen für Krankenzimmer und überall, wo ein „Vollbrennen" der Lampe zeitweise unbequem ist, besonderen Werth.

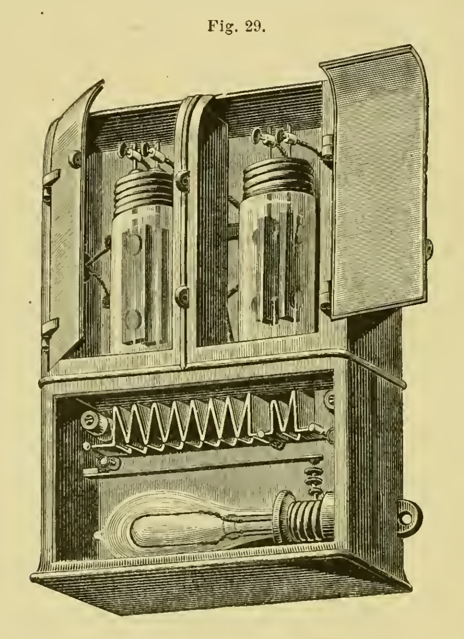
Unter den im Vorstehenden erwähnten Kronleuchtern und Wandarmen sind oft solche verwendet, die zuvor für Gasbeleuchtung dienten und die durch Einführen von elektrischen Leitungsdräthen für die Glühlichtbeleuchtung umgeändert worden sind.

§ 37. Edison's Mess- und Registrirapparate.

Wir wenden uns nun zur Besprechung des Edison'schen Messapparates (Edison electric light meter), d. h. desjenigen Apparates, welcher im Hause der Consumenten den von diesen zu Beleuchtungs- etc. Zwecken verbrauchten elektrischen Strom messen soll. Das Princip des Apparates beruht darauf, dass ein bestimmter bekannter Bruchtheil des gesammten, dem betreffenden Consumenten gelieferten Stromes durch eine Lösung von Zinkvitriol in Wasser zwischen zwei mit Quecksilber amalgamirten Zinkplatten hindurchgeleitet wird und dass aus der hierbei erfolgenden Gewichtsänderung der als Elektroden dienenden Zinkplatten auf den Verbrauch an elektrischem Strom geschlossen wird. Es ändert sich dabei stets das Gewicht beider Platten, was die *eine* Zinkplatte an Gewicht zunimmt, verliert die andere. Würde dieses Letztere streng richtig sein, so müsste es vollkommen gleichgültig sein, ob man die Gewichtszunahme der einen oder die Gewichtsabnahme der anderen Zinkplatte ermitteln würde. Indess hat sich herausgestellt, dass man constantere Resultate erhält, wenn man die letztere Art der Bestimmung der Gewichtsänderung wählt. Die Anwendbarkeit des Apparates beruht auf den von Faraday entdeckten Gesetzen der Elektrolyse und zwar hauptsächlich auf folgenden: I. Die Energie der elektrolytischen Wirkung eines elektrischen Stromes ist an allen seinen Theilen dieselbe. II. Die Menge der elektrolytisch ausgeschiedenen Substanz ist 1) proportional der Stromstärke des zersetzenden Stromes und 2) pro-

portional seiner Zeitdauer. Die Menge der elektrolytisch ausgeschiedenen Producte ist daher allein abhängig von der Gesammtmenge der durch die zersetzbare Flüssigkeit hindurchgeleiteten Elektricität und unabhängig von der Zeit, welche zum Durchleiten dieser Menge Elektricität verwandt worden ist. Das heisst: ein doppelt so starker Strom scheidet demnach in einer gewissen Zeit dieselbe Menge eines elektrolytisch ausscheidbaren Stoffes aus, wie ein Strom von der Intensität 1 in der doppelt so langen Zeit u. s. f. Versuche, die bezüglich der elektrolytisch ausgeschiedenen Gewichtsmengen verschie-

Fig. 29.



dener Körper angestellt wurden, haben ergeben, dass ein Strom von der Intensität 1 Ampère, pro Minute

19,7 Milligramm Kupfer[1])
20,2 „ Zink[2]) u. s. w. ausscheidet.

Fig. 29 zeigt die perspectivische Ansicht des auf die eben erwähnten Gesetze basirten Edison'schen Messapparates, Fig. 30 das Schema des Stromlaufes in ihm. Bei A tritt der von der Strassen-

[1]) Vergl. Seite 18.

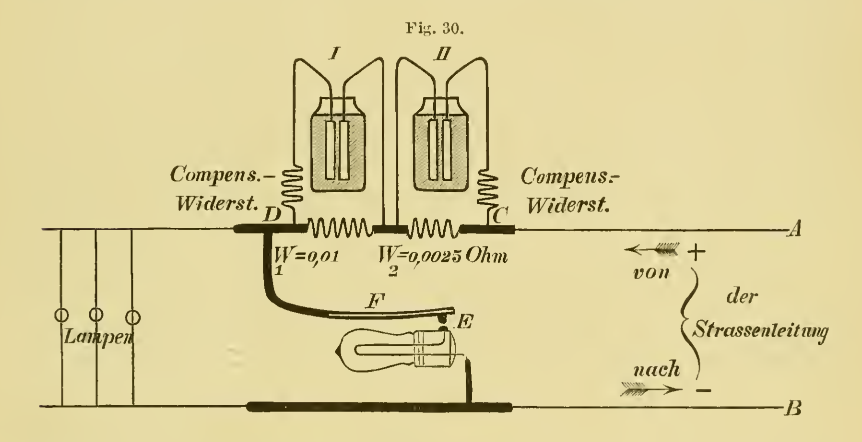
[2]) Edison nimmt die Zahl 20,4 mg an.

leitung kommende elektrische Strom ein und würde ganz durch die beiden mit *II* und *I* in der Fig. 30 bezeichneten Zinkvitriol-Voltameter gehen, wenn nicht jedes derselben durch eine aus Neusilberdrath von passendem Widerstand gebildete Nebenschliessung in sich geschlossen wäre. Diese Nebenschliessungen:

$$W_2 = 0{,}0025 \text{ Ohm}$$
$$W_1 = 0{,}01 \text{ Ohm}$$

betragen nur einen ganz geringen Bruchtheil ($\frac{1}{3892}$ resp. $\frac{1}{973}$) des die Zink-Flüssigkeit enthaltenden Zweiges, so dass also die Hauptmenge des Stromes durch die metallischen Leiter W_2 und W_1, eine nur geringe hingegen durch die Voltameter selbst geht. Diese letzteren selbst enthalten Zinkvitriollösung (90 Gew.-Th. reines schwe-

Fig. 30.



felsaures Zink auf 100 Theile Wasser), in welche je zwei amalgamirte Zinkplättchen mit 6 mm Abstand von einander eingehängt sind. Bei *D* vereinigt sich die Leitung wieder, und der Strom durchläuft nun die Zahl der gerade im Hause eingeschalteten Glühlampen und kehrt dann bei *B* zur Strassenleitung wieder zurück. So lange nun das Verhältniss der Neusilberdrath-Widerstände W_2 resp. W_1 zu den Widerständen der beiden Zink-Voltameter *II* resp. *I* nicht geändert wird, so lange wird stets der gleiche Bruchtheil des gesammten consumirten Stromes durch die Voltameter *II* resp. *I* hindurchgehen. Nun aber ändert sich bekanntlich sowohl der Widerstand von Flüssigkeiten wie auch der der Metalle mit der Temperatur, was zur Folge haben würde, dass das eben angedeutete Widerstands-

verhältniss von W_2 zu *II* und W_1 zu *I* nicht constant bleiben kann, wenn die Temperatur des Ortes, an welchem der Messapparat aufgestellt ist, sich ändert, und wir könnten daher aus dem Gewicht der etwa in *I* oder *II* ausgeschiedenen Mengen Zink auch keinen Schluss auf die Menge des überhaupt hindurchgegangenen Stromes machen. Zum Glück aber verändern beide Klassen von Körpern — die Metalle und die Flüssigkeiten — ihren Widerstand bei Temperaturänderungen in entgegengesetztem Sinne, derjenige der Metalle wächst mit steigender Temperatur, während derjenige der Flüssigkeiten abnimmt, und umgekehrt bei sinkender Temperatur. Es wird daher keine Schwierigkeit haben in die zu den Voltametern *I* und *II* führenden Zuleitungsdräthe, Metalldräthe, z. B. aus Kupfer gebildete Compensations-Widerstände so einzuschalten, dass nun die beispielsweise durch Temperaturerhöhung der Voltameterflüssigkeit *I* resp. *II* hervorgebrachte Widerstandsverkleinerung gerade aufgehoben wird durch die bei eben dieser Temperaturerhöhung eintretende Widerstandsvergrösserung der in Fig. 30 als Compensationswiderstand schematisch angedeuteten Metalldrathrolle; alsdann wird das Verhältniss der Widerstände W_2 resp. W_1 zu dem der zugehörigen Voltameter *II* resp. *I* trotz eintretender Temperaturänderungen constant bleiben. Und da wir nun ferner wissen, dass bei sogenannten Stromverzweigungen die in den einzelnen Theilen letzterer fliessenden Ströme sich stets so vertheilen, dass ihre Summe gleich dem Gesammtstrom in dem unverzweigten Theile der Leitung ist, und sie selbst sich umgekehrt wie die Widerstände der betreffenden Leiterverzweigungen verhalten, so können wir offenbar mit Leichtigkeit den gesammten consumirten Strom angeben, wenn wir eben nur die in *I* resp. *II* durch die Stromwirkung hervorgebrachten Gewichtsänderungen der Zinkplatten bestimmen und das Verhältniss der Widerstände W_1 und W_2 zu denen der die Voltameter enthaltenden Stromkreise kennen. Wie leicht ersichtlich ist, würde jedes der beiden Zink-Voltameter für sich allein schon vollkommen für diese Bestimmungen des consumirten Stromes genügen; das eine soll auch nur zur Controlle des anderen dienen, in der Art, dass das eine derselben monatlich, das andere viermonatlich zur Bestimmung benutzt wird. Aus eben diesem Grunde ist auch der Nebenschluss ($W_1 = 0{,}01$ Ohm) viermal so gross gewählt worden, als der von W_2 (= 0,0025 Ohm). Demzufolge wird — da der Widerstand

der Zinkvoltameter selbst stets durch Wahl gleichen Abstandes und gleich grosser amalgamirter Zinkplatten stets der gleiche bei allen Instrumenten ist — im Voltameter *I* auch vier mal so viel Zink ausgeschieden (resp. von der anderen Platte abgelöst) werden als im Voltameter *II*. Die sich abspielenden Processe sind in beiden genau die analogen, und es genügt daher, fernerhin nur das eine dieser Voltameter noch näher zu besprechen. Das Verhältniss des Widerstandes des Nebenschlusses W_1 (= 0,01 Ohm) zu der Summe der Widerstände des Voltameters (1,73 Ohm) und der Compensationsrolle (8 Ohm) wird ebenfalls bei allen Instrumenten[3]) gleich gewählt. Aus den eben angegebenen Zahlen und den oben erwähnten Gesetzen der Stromverzweigung geht hervor, dass das Verhältniss des Theil-Stromes im Nebenschluss W_1 zu demjenigen im Voltameterkreise sich umgekehrt wie die Widerstände in diesen 2 Kreisen, d. h. also wie

$$\tfrac{1}{100} : 9{,}73$$

oder wie $1 : 973$ wird;

es wird hiernach also nur $\frac{1}{974}$ des gesammten Stromes vom Zinkvoltameter registirt. Nimmt man nun — wie das die in New York verwendeten Lampen bei weitem der Mehrzahl nach sind — 16 kerzige Glühlampen an, so würden um 1000 Normalkerzen zu erhalten $\frac{1000}{16} = 62\frac{1}{2}$ Glühlampen erforderlich sein, und der dazu nöthige Strom würde betragen: $62{,}5 \cdot 0{,}75 = 46{,}875$ Ampère. Von dieser Zahl registrirt der Edison'sche Messapparat obiger Angabe zufolge jedoch nur den 974sten Theil. Da ferner 0,00034 g Zink[4]) in 1 Secunde von dem Strom 1 Ampère ausgeschieden werden, so wird der Gesammtbetrag gleich

$$\frac{46{,}875}{974} \cdot 0{,}00034 = \frac{0{,}0159375}{974} \text{ g Zink in 1 Secunde}$$

folglich in einer Stunde $= \frac{57{,}375}{974} = 0{,}0589066$ g Zink

sein. Wir haben also das Resultat, dass 1000 Kerzenstunden dieser Berechnung zufolge 0,0589066 g Zink entsprechen, und dass

$$1 \text{ mg Zink mithin } \frac{1000}{58{,}9066}$$

d. h. fast genau = 17 Kerzenstunden entspricht. Dieses Ergebniss wird für das Ausstellen der Rechnungen in der Art benutzt, dass

---

[3]) Das erwähnte Instrument ist ein solches für 25 Lampen.

[4]) Vergl. Seite 90.

die beobachtete Gewichtsänderung der Zinkelektrode in Milligrammen gezählt und mit der Zahl 17 multiplicirt die Zahl der Kerzenstunden ergiebt, und die Rechnung wird demzufolge mit der Zugrundelegung: 1000 Kerzenstunden = 1 Dollar (4 Mark) ausgestellt. Um die Gewichtsänderung der Zinkplatte bestimmen zu können, wird das Voltameter von einem Beamten der Edison-Gesellschaft allmonatlich durch ein neues ersetzt, das gebrauchte wird in das Bureau der Gesellschaft genommen, dort die Platte gewogen[5]) und hiernach in der angedeuteten Weise die Rechnung ausgestellt. Für die Eintragungen der Wägungsresultate der Voltameterplatten der Messapparate dienen Schemata ähnlich dem Folgenden:

Messapparat No.			Name des Abonnenten: . . . . . . Wohnung:					
Messapparat aufgestellt	Gewicht der Platte		Messapparat abgeholt	Gew. der Platte		Gew.-Differenz		Anzahl der Kerzenstunden
	I	II		I	II	I	II	
Januar 20	90,300	90,400	Febr. 20	91,400	—	1100 mg	—	18700

In Fig. 29 und 30 (Seite 90) ist noch eine, bisher hier nicht erwähnte, äusserst sinnreiche Einrichtung angegeben; es ist dies die unterhalb der Voltametergefässe liegende Edisonlampe, welche (vergl. Fig. 30) parallel zu den im Hause in Anwendung kommenden Lampen eingeschaltet ist resp. sich selbstthätig einschaltet, sobald die Temperatur des die Zinkvoltameter enthaltenden Schränkchens eine gewisse Grenze unterschreitet. Der Grund dieser Einrichtung ist der, dass die zuvor besprochenen kupfernen Widerstandsrollen, welche zur Compensation etwaiger Widerstandsänderungen bestimmt sind, die durch Temperaturschwankungen im Voltameterkreis hervorgebracht werden, diese ihre Aufgabe nur innerhalb der verhältnissmässig engen Gränzen von 30—40 Graden erfüllen, und dies

[5]) Die automatisch nach Art einer Zähluhr eingerichteten, von Edison construirten Messapparate, bei welchen 2 Zinkplatten an den Armen einer Waage aufgehängt sind, und bei denen die Stromrichtung jedesmal selbstthätig umgekehrt wird, sobald sich eine gewisse Gewichtsdifferenz hergestellt hat, haben sich als unbrauchbar erwiesen.

offenbar auch nur so lange thun können, als die Flüssigkeit des Voltameters nicht etwa in Folge abnorm niedriger Temperatur gefrieert. Dieses letztere zu verhindern, ist Aufgabe der erwähnten, sich selbstthätig ein- und ausschaltenden Glühlampe des Voltameterschränkchens. Wie dies geschieht, geht direct aus Fig. 29 u. 30 hervor. Man bemerkt, dass für gewöhnlich die Lampe nicht in den Stromkreis eingeschaltet ist, es geschieht dies erst dann, wenn bei E (Fig. 30) der Contact der Zuleitung A mit der Lampe hergestellt wird. Zu dem Zwecke ist die in Fig. 30 mit F bezeichnete Contactfeder aus zwei ihrer Wärmeausdehnung nach sehr verschiedenen, über einander genieteten dünnen Kupfer- und Stahlstreifen hergestellt. Bei gewisser Temperatur werden beide einen geraden Streifen bilden, sinkt oder steigt aber die Temperatur, so wird die Ausdehnung des einen Metalles über das andere überwiegen und der Streifen sich krümmen und zwar dem Steigen resp. Sinken der Temperatur entsprechend in entgegengesetzter Weise. Die Dimensionen der erwähnten aus 2 Metallen (oben Stahl, unten Kupfer) in der angegebenen Art hergestellten Doppelfeder sind nun so gewählt, dass bei einer gewissen, niedrigen Temperatur der Lampencontact bei E sich herstellt; dadurch wird die erwähnte Lampe selbstthätig in den Stromkreis eingeschaltet, beginnt zu glühen, erhöht hierdurch die Temperatur des Schränkchens des Messapparates und schaltet sich, sobald diese Temperatur erreicht ist, sofort wieder durch nunmehr folgendes entgegengesetztes Krümmen selbstthätig wieder aus. Ein Einfrieren der Flüssigkeiten des Edison'schen Messapparates ist somit unmöglich.

§ 38. Vorsichtsmaassregeln für den Gebrauch des Edison'schen Messapparates.

Es erübrigt, noch etliche Worte über einige zu beobachtende Vorsichtsmaassregeln beim Gebrauch der Voltameter hinzuzufügen.

Zunächst ist es erforderlich, je nach der Zahl der von einem Messapparat zu registrirenden Lampen diesem eine passende Grösse zu geben, resp. den Nebenschlusswiderstand (0,01 resp. 0,0025 Ohm) der bisher besprochenen Zinkvoltameter anders zu wählen, damit nicht eine zu grosse Stromdichtigkeit an den Elektrodenplatten eintritt, in welchem Falle sich grosse Unregelmässigkeiten in den Gewichtsangaben der Platten herausstellen würden. Ferner ist es erforderlich, stets diejenige Zinkplatte zu den Wägungen zu be-

nutzen, von welcher sich Metall in Folge des Stromes auflöst. Beim Durchgange des Stromes durch eine Lösung von schwefelsaurem Zink scheidet sich an der den —Pol bildenden Zinkplatte metallisches Zink, an der anderen (dem +Pol) das Radical der Schwefelsäure aus, und da sich diese letztere eben an der einen Zinkplatte selbst ausscheidet, so erhalten wir hier überhaupt gar nicht frei nachweisbare Schwefelsäure, sondern sofort wieder schwefelsaures Zink, das sich in dem Wasser sogleich löst. Diese Platte ist demnach stets nur von schwefelsaurer Zinklösung umgeben. Anders bei der anderen Platte. Dort wird das die Zinkplatte umgebende Zinkvitriol zersetzt, die zunächst der Platte liegende Flüssigkeitsschicht giebt in Folge der Stromwirkung ihr Zink an die Elektrode ab und wir erhalten somit diese Platte umgeben von einer Schicht verdünnter Schwefelsäure, die ihrem im Vergleich zur Zinkvitriollösung geringeren specifischen Gewichte zufolge an der Platte aufsteigt und dabei durch rein chemische Wirkung diese theilweise wieder angreift und in schwefelsaures Zink zurückverwandelt. Offenbar ist dieses die Ursache, weshalb die Gewichtsbestimmung der positiven, sich durch die Stromwirkung auflösenden Zinkplatte bessere Resultate giebt als die Wägung der anderen Platte[1]).

Andere zu beobachtende Punkte sind, dass die Zinkplatten der Voltameter ganz von der Zinkvitriollösung bedeckt werden, während die die Zinkplatten selbst tragenden kupfernen Zuleitungsdräthe vollkommen mit einem Harzüberzug bekleidet sein müssen, sie dürfen an keiner Stelle davon entblösst in die Zinklösung tauchen, ausserdem müssen die Zinkplatten sowohl wie auch die Lösung von schwefelsaurem Zink vollkommen rein (chemisch rein) sein, wenn exacte Resultate erhalten werden sollen. Die Zinkplatten selbst thut man gut mit Quecksilber zu amalgamiren, es schützt dies die Platten vor dem directen, chemischen Angriff der stets sauer reagirenden Zinklösung. Vor der Wägung müssen die Platten aus den Voltametern herausgenommen, mit Wasser abgespült, dann vorsichtig an warmem Orte getrocknet werden. Die bei geeigneten Vorsichtsmaassregeln erhaltenen Resultate sollen bis auf 1

---

[1]) Auch die Unzuverlässigkeit der auf Seite 94 in der Anmerkung erwähnten automatisch registrirenden und direct mittels eines Uhrwerkes zählenden Messapparate wird vermuthlich denselben Grund haben.

resp. 2 % genau sein, was in der That eine Genauigkeit ist, die wir bei Anwendung von Gasuhren (nur bis auf 4 bis 5 % genau) jedenfalls nicht zu erreichen im Stande sind.

§ 39. Betriebs-Erfolge der Edison-Lichtanlage in New York.

Im Anschluss an die Ende des § 37 gegebenen Bemerkungen bezüglich der Rechnungsaufstellungen über das von der Edison-Companie in New York an die Consumenten gelieferte Licht mag hier nur vorläufig erwähnt werden, dass — gleiche gelieferte Lichtmengen vorausgesetzt — die Kosten des Edison-Lichts sich etwa um 1/3 theurer stellen als bei Anwendung von Gaslicht[1]). Indess trotz dieses höheren Preises ist die Zahl[2]) der Abnehmer des Edison-Lichtes vom ersten Tage des Betriebes (3. Sept. 1882) der Centralstation ab stehend und regelmässig gewachsen, und es erklären sich die Abnehmer in jeder Beziehung zufrieden gestellt und würden trotz des höheren Preises, den ihnen die Edison-Beleuchtung kostet, dieselbe unter keiner Bedingung wieder missen wollen. Nach den Schwierigkeiten, die in der ersten Zeit des Betriebes der Station (Umkehr des Magnetismus einer der zusammengekoppelten Maschinen etc.) sich gezeigt und vielen Staub in dem Edison ungünstigen Theile der Presse aufgewirbelt hatten, sind seither keine neue aufgetreten. Vielmehr hat der gesammte, so schön in allen seinen Einzelheiten durchdachte und durchgearbeitete Mechanismus der New Yorker Glühlichtbeleuchtung völlig Edison's Erwartungen und Hoffnungen entsprochen; sein Erfolg steht in physikalischer Beziehung ganz

---

1) Vergl. § 57.

2)

Datum	Zahl der angechlossenen Häuser	Drathleitungen in den Häusern ausreichend für	Zahl der wirklich installirten Lampen
1882 3. Sept.	85	1152 Lampen	
14. Oct.	?	2323 „	
20. Dec.	225	5000 „	
1883 2. Febr.	310	6225 „	
6. April	368	8117 „	
31. Mai	429	10268 „	
15. August	431	10300 „	
20. „	435		8687
1. Sept.	447		8940

ausser Frage und wir wollen es Edison wünschen, dass er auch in pekuniärer Beziehung das Gleiche von seinem colossalen Unternehmen sagen könne.

Ob sein Leitungsnetz wirklich für 16000 Lampen ausreiche, darf bezweifelt werden, Edison hatte es — wie schon früher erwähnt — für diese Lampenzahl bestimmt unter der Annahme, dass von allen Lampen nur immer höchstens der 5. Theil gleichzeitig benutzt werde. Wie es heisst, sollen neue Abonnenten nicht mehr seit dem September 1883 angenommen werden. Ob das seinen Grund darin hat, dass das Leitungsnetz oder — wie von anderer Seite behauptet wird — darin dass die Dynamomaschinen nicht ausreichen, oder endlich darin, dass ein grösserer Bruchtheil der Gesammtzahl der Lampen gebrannt werden, als Edison's ursprünglicher Annahme entspricht, muss dahin gestellt bleiben.

Die vielfach verbreitete Ansicht, dass in New York für das Kleingewerbe elektrisch von Edison's Centralstation aus betriebene Motoren in grosser Zahl in Gebrauch wären, ist durchaus irrig. In ganz New York existirte bis Mitte September vorigen Jahres auch nicht ein einziger derartiger Motor, Edison lieferte bis dahin Elektricität nur zum Zwecke der Innen-Beleuchtung der Häuser, geht aber allerdings mit dem Plan um, solche Motoren einzuführen. Dieselben sollen genügen, um Nähmaschinen zu treiben, Fahrstühle zu bewegen u. s. w. Ob sie aber wirklich vielfache Verwendung im Kleingewerbe werden finden können, erscheint zweifelhaft, da eben gerade zu der Zeit, in der die grösste Menge Elektricität zu Zwecken der Beleuchtung gebraucht wird, die Arbeitszeit der Gewerbe noch nicht vorüber ist, und also gerade die Annahme Edison's, dass er auf diese Weise den Tag über die Maschinen seiner Station für Kraftleistung ausnutzen könne, während sie am Abend Licht produciren, nicht zutrifft.

§ 40. Edison'sche Lichtanlage in Roselle, N.J.

Bevor wir auf die grösseren Central-Anlagen in anderen Städten eingehen, wollen wir hier Einiges über eine kleine Beleuchtungsanlage mit Edison'schem Glühlicht einschalten, die in Roselle ausgeführt ist, einem Orte, an welchem es Gasbeleuchtung überhaupt nicht giebt. Roselle ist ein im Staate New Jersey gelegenes, von

New York 15 englische Meilen entferntes Städtchen, welchem Edison eine möglichst billige Glühlichtanlage geliefert hat. Wie bereits mehrfach hervorgehoben, beruhen die Hauptkosten in den sehr werthvollen, unterirdisch geführten, dicken Kupferleitungen und da sich diese hier nicht rentiren würden, so hat man bei dieser Anlage darauf verzichtet, sämmtliche Lampen in paralleler Schaltung zu verwenden, also jede einzelne unabhängig von allen anderen zu haben, und hat es vorgezogen, hier stets je 3 Lampen (à 10 Norm-Kerzen und 106 Volt-Spannung) hintereinander zu schalten und die so erhaltenen Gruppen von je 3 Lampen in Parallelschaltung zu verwenden. Es sind dabei Lampen von je 250 Ohm Widerstand verwendet worden, so dass die 3 hintereinandergeschalteten also 750 Ohm repräsentiren. Die Folge davon ist, dass es nun möglich ist, sehr viel dünnere Zuleitungsdräthe als sonst zu verwenden. Drei Dynamomaschinen (sog. 250-Licht-Maschinen), von denen die eine zur Reserve dient und für gewöhnlich nicht benutzt wird, werden je durch eine 35-pferdige Dampfmaschine getrieben. Die Station ist seit dem 14. Januar 1883 im Betriebe, die Zahl der Abonnenten belief sich bereits im Anfang September desselben Jahres auf 52, die Zahl der installirten Lampen auf 1065, von denen im Durchschnitt 6 bis 800 täglich im Gebrauch waren. Auch ein Theil der Strassen wird hier — was in New York nicht der Fall ist — mit Edison'schem Glühlicht beleuchtet und eine jede der (in Summa 57) Laternen wird der Natur der Anlage gemäss durch je 3 Glühlampen gebildet. Der Preis ist wieder, wie überhaupt ganz allgemein bei den Edison'schen Central-Anlagen, 1 Dollar pro 1000 Kerzenstunden, genau so wie in New York, indess sind nur in der Zeit von 6 Uhr Nachmittags bis 1 Uhr Nachts die Maschinen im Gange, so dass also auch nur innerhalb dieser Zeit elektrischer Strom für Licht geliefert wird. Die elektromotorische Kraft der Dynamomaschinen beträgt 320 Volt, die Stromstärke in den Lampen $\frac{48}{100}$ Ampère. Die ganze Anlage soll für 846 Serien à je 3 Lampen ausreichend sein. Die Zuleitungsdräthe bestehen aus ziemlich dicken[1]) Kupferdräthen, die oberirdisch, einander parallel auf 30′ hohen, 130′ von einander abstehenden einfachen Holzpfosten geführt sind. Die ganze Länge der Haupt-Leitungen in den Strassen be-

[1]) Dickste Sorte 1 cm, dünnste Sorte 1,55 mm im Durchmesser.

trägt etwa 8300 m, denselben wird an 3 verschiedenen Stellen durch Zuleitungen in einer Entfernung von 150, 660 und 700 Metern von dem Stationsgebäude die Elektricität zugeführt. Für den Fall, dass noch mehr Abonnenten sich melden und Glühlampen-Einrichtungen für ihre Häuser verlangen, soll noch eine vierte Zuleitung in etwa 900 m Entfernung von der Station hinzugenommen werden. Die grosse Mehrzahl der gegenwärtigen Abonnenten hat je 5 Gruppen von je 3 Lampen in ihren Häusern, nur wenige haben mehr.

Das am meisten von der Station entfernt liegende, mit Glühlicht beleuchtete Haus hat eine Entfernung von fast 1400 Metern von derselben, eine Entfernung, die zu erreichen eben nur durch die Wahl des hohen Widerstandes von 750 Ohm der 3 hintereinander geschalteten Lampen ermöglicht ist.

§ 41. Centrale Beleuchtungs-Anlagen Edison's in anderen Städten.

Wie schon vorher erwähnt, ist bis jetzt nur ein District New York's central[1]) mit Edison'schem Glühlicht beleuchtet und während dieser in demjenigen Theile New York's gelegen ist, der die eigentliche Geschäftsgegend bildet, so beabsichtigt Edison zu seinem nächsten District die Umgegend des Madison Square (24ste bis 42ste Str.) zu wählen, welche den elegantesten Theil der Riesenstadt repräsentirt. Das System der Beleuchtungsanlage, welches wie Edison sagt, hier zur Anwendung kommen wird, wird sich wesentlich von dem im District I verwendeten unterscheiden und zwar 1) durch die Wahl anderer Lampen, 2) durch Benutzung eines anderen Systems der Anlage des Leitungsnetzes. Der wunde Punkt der centralen Glühlicht-Anlagen von Städten überhaupt liegt ja in dem ungemein kostspieligen Leitungsnetz. Je geringer die Stromstärke ist, welche jede einzelne Lampe zu ihrem Betriebe erfordert, um so grösser wird die Zahl der Lampen sein, welche mittels eines gegebenen Kabels werden gespeist werden können, resp. um so geringer werden wir bei gegebener Lampenzahl dessen Querschnitt wählen dürfen. Alle Vervollkommnungen des Glühlichtsystems überhaupt werden immer dahin zu gehen haben, dass wir suchen

---

[1]) Aehnlich eingerichtete kleine Central-Anlagen existiren in Fall River Lawrence, Mass., Watertown N. Y. etc.

müssen, Lampen herzustellen, die bei kleiner Stromstärke einen ökonomischen Betrieb gestatten, bei kleiner Kerzenstärke — und die praktisch in Frage kommenden halten sich zwischen den Grenzen 10 bis 20 Normal-Kerzen — hinreichend hohen Widerstand haben und hohe elektromotorische Kraft anzuwenden gestatten. Beides sucht Edison zu erreichen und während er beim District I 16 kerzige Lampen verwendete, die $^3/_4$ Ampère Strom erfordern, so beabsichtigt er nun bei etwaiger Anlage eines zweiten Districtes in New York Lampen zu verwenden, die nur 0,48 Ampère bedürfen. Es würde dies in der That ein sehr grosser Vortheil sein, eben weil ja beispielsweise dem doppelten Strom die vierfache Drathmenge als erforderliche Zuleitung entspricht. Diese für Lampen grösserer Stromstärke so ungünstigen Verhältnisse gestalten sich um so nachtheiliger, je grösser die beabsichtigte Anlage d. h. je weiter der Ort der Stromerzeugung von der Verbrauchsstelle liegt, so dass Centralanlagen für Glühlichtsysteme, die grosse Stromstärke erfordern (z. B. Swan's und vor allem Bernstein's in Boston) überhaupt unausführbar werden, falls man nicht gerade den Hauptvortheil der Parallelschaltung aller Lampen und dadurch die Unabhängigkeit jeder einzelnen von allen übrigen aufgeben will. Wir werden auf diesen Punkt später bei der Vergleichung der einzelnen Glühlichtsysteme noch zurückzukommen haben.

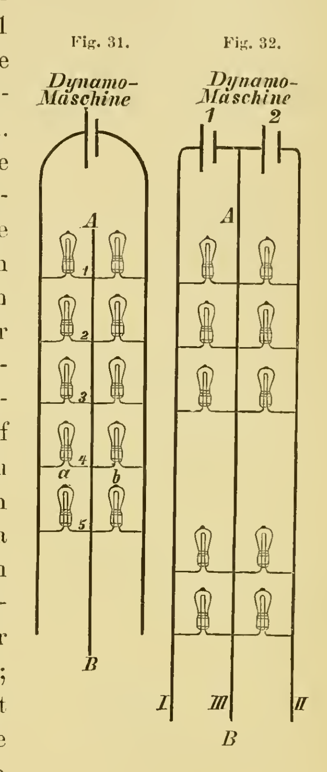
§ 42. Edison's Dreileiter-System.

Die zweite beabsichtigte Aenderung besteht in der Anwendung des sogenannten Dreileiter-Systems, dessen Anordnung aus dem nebenstehenden Stromschema hervorgeht: Während bei den bisher besprochenen Anlagen sämmtliche zur Verwendung kommenden Dynamomaschinen sowohl wie die Lampen in Parallelschaltung angeordnet waren und die Zuleitungen zu den Lampen durch 2 dicke Kupferbarren gebildet waren, so sind bei dem Dreileitersystem stets je 2 Dynamomaschinen hintereinander geschaltet und dementsprechend auch die Lampen. Der Vortheil dieser Art der Schaltung erhellt leicht: Der Einfachheit wegen wollen wir annehmen, wir hätten nur eine Dynamomaschine und nur 2 Lampen, um für sie die Ueberlegung für beide Arten der Schaltungsweise durchzuführen. Schalten wir zunächst beide Lampen nebeneinander (Zwei-Leiter-

System), so werden wir, wenn W der Widerstand jeder einzelnen Lampe ist, in diesem Falle als gemeinsamen Lampenwiderstand haben $\frac{W}{2}$. Im anderen Falle bei Hintereinanderschaltung beider Lampen hingegen wird der so resultirende Widerstand 2 W sein, d. h. 4 Mal so gross als im erstgedachten Falle. Nun aber wissen wir, dass ein gewisser Theil der gesammten von der Stromenergie erzeugten Wärme als nutzlose Wärme in den Zuleitungen auftritt und zwar ein um so geringerer Theil, je grösser der Widerstand der Lampen im Verhältniss zu dem der Zuleitungen ist. Es folgt daraus einfach, dass, wenn wir immer nur den gleichen Bruchtheil (in praxi 10%) der gesammten vom Strom erzeugten Wärme in beiden Fällen in den Zuleitungen verloren geben wollen, wir dann das Verhältniss des Widerstandes dieser und der Lampen in beiden Fällen gleich (d. h. auch nur = 10% des Widerstandes der Lampen) werden wählen dürfen, d. h. wir werden gezwungen sein, bei Parallelschaltung der Lampen 4 mal so dicke Zuleitungen zu benutzen als bei Hintereinanderschaltung derselben.

Indess das Hintereinanderschalten der Lampen in diesem Falle würde an sich bedingen, dass das Auslöschen einer Lampe auch das Verlöschen der mit ihr zusammengeschalteten Lampe nach sich ziehen würde, und der nächstliegende Gedanke, diesem Mangel abzuhelfen, war, dass man die einzelnen Lampenpaare durch einen Drath AB (Fig. 31, pag. 103) untereinander verband. Falls dann etwa Lampe a verlöscht würde, so würde dies offenbar nun nicht das Verlöschen der anderen Lampe b des betreffenden Lampenpaares zur Folge haben, sondern es würde in diesem Falle letzterer Lampe noch durch den Verbindungsdrath AB die nöthige Elektricitätsströmung vermittelt werden. Aber wie man erkennt, würden in diesem Falle die Lampen auf der linken Seite von AB stärker beansprucht werden als die auf der anderen Seite, wir würden ungleich hell brennende Lampen erhalten und das ganze System könnte auch nur so lange richtig functioniren als die Zahl der auf beiden Seiten von AB brennenden Lampen wenigstens angenähert gleich ist. Um sich auch von diesem Uebelstande frei zu machen, hat Edison nun die Anordnung so getroffen, dass er an Stelle der einen Dynamomaschine deren 2 hintereinanderschaltet und als Zuleiter 3 Drathleitungen verwendet, deren 2 mit den freien Polen der beiden Dynamos verbunden sind, während der dritte zu den mit einander

verbundenen Polen der beiden Dynamomaschinen führt (Fig. 32). Welches nun auch der elektrische Zustand dieses dritten Leiters etwa sein mag, so ist jedenfalls das sicher, dass der Unterschied der elektrischen Spannung zwischen ihm und dem Leiter *I* nur bedingt sein wird durch den Unterschied der Spannung der Pole der Dynamomaschine 1 und analog wird die elektromotorische Kraft der Maschine 2 den Spannungsunterschied der Leiter *II* und *III* bedingen. Werden nun die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen genau in der früher bezeichneten Weise je nach Bedarf d. h. je nach der Zahl der gerade brennenden Lampen passend variirt, so wird dadurch erreicht werden, dass wieder jede der Lampen stets die richtige Strommenge erhält und die richtige Anzahl Kerzenstärken ergiebt. Für den Fall, dass auf beiden Seiten des dritten Leiters *AB* genau die gleiche Zahl von Lampen (alle von gleichem Widerstande vorausgesetzt) etwa zufällig in Betrieb wären, fliesst durch den dritten Zuleiter *AB* gar keine Elektricität; für diesen Fall, aber auch nur für diesen einen Fall wäre er unnöthig; seine Rolle beginnt erst von dem Moment ab, wo auf der einen Seite eine grössere Zahl Lampen gebrannt, also mehr Strom erfordert wird als auf der anderen[1]).

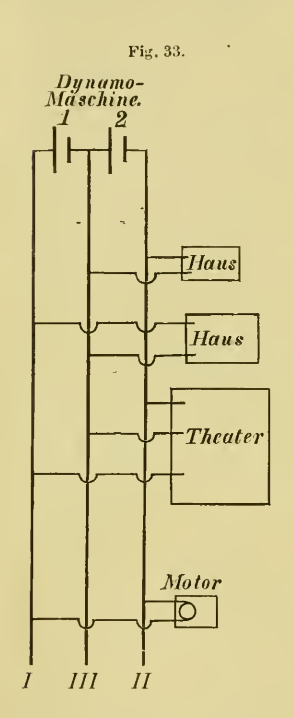


Diese Art des Zuleitungssystems hat Edison zum ersten Male auf der vorjährigen Ausstellung (1883) in Louisville verwendet und für wirklich praktische Zwecke in Brockton (Mass.), einem kleinen Städtchen von 7000 Einwohnern zur Anwendung gebracht. Der grosse Vortheil beruht darin, dass (wie schon vorher bemerkt)

[1]) Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass man dem obigen Verfahren analog 3 hintereinandergeschaltete Maschinen mit je 4 Dräthen u. s. w. verwenden könnte.

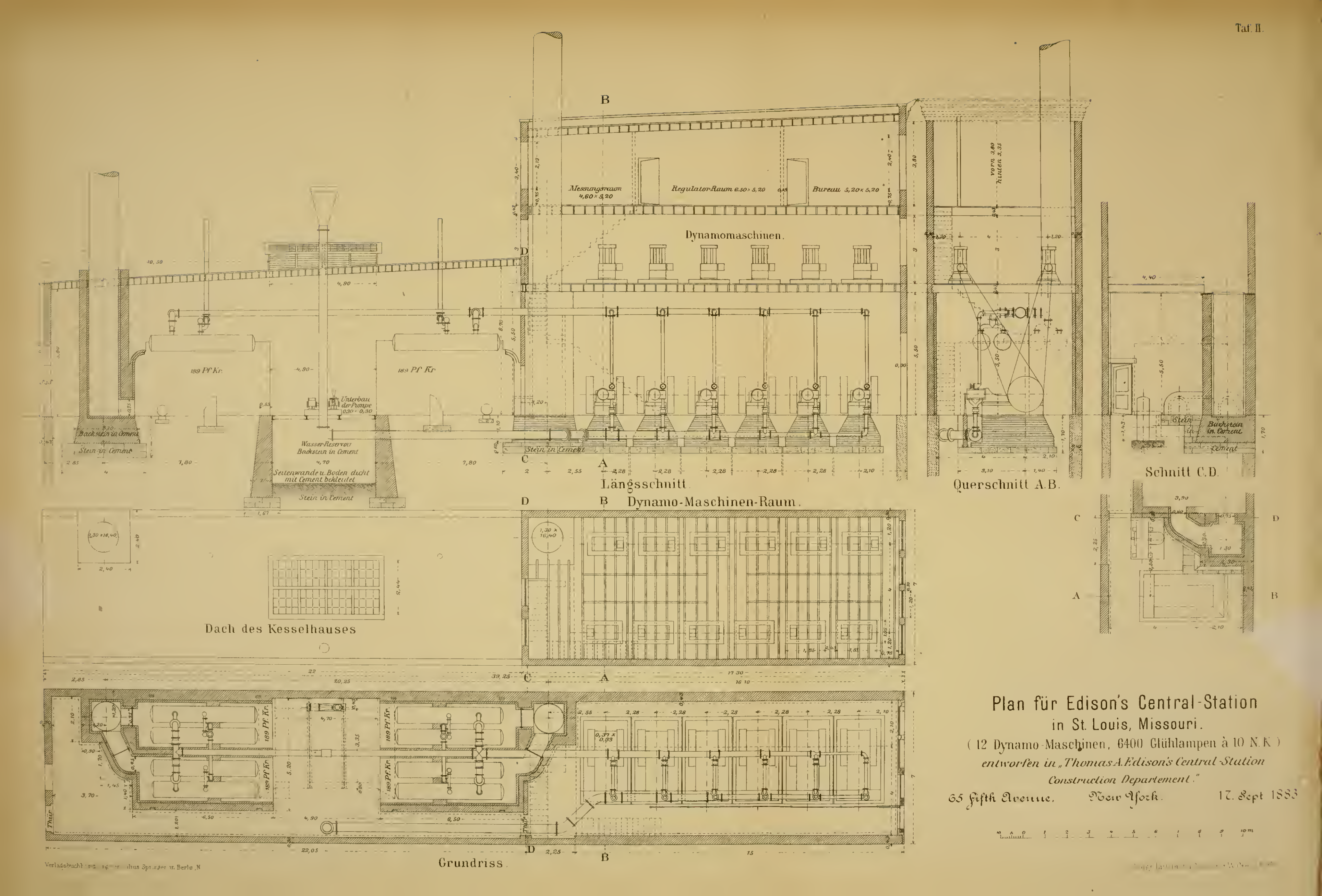
bei Nebeneinanderschaltung von stets je 2 hintereinander geschalteten Lampen nur der vierte Theil desjenigen Leitungsmaterials erforderlich ist als bei Parallelschaltung sämmtlicher Lampen, so dass Edison — da noch der dritte Drath hinzukommt — durch diese Anordnung eine Ersparniss des Kupfermaterials im Verhältniss 3 : 8 erreicht. Freilich wird der Herstellungspreis der fertigen Leitungsröhren selbst nicht in demselben Verhältniss abnehmen. Die Art der Fabrikation der 3-Leiterkabel ist bereits auf Seite 77 erwähnt.

Fig. 33.



Bei centralen Anlagen werden bei Anwendung des Drei-Leitersystems die einzelnen Häuser der Strassen je nach der Zahl der in ihnen zur Verwendung kommenden Lampen je an Leiter *I* und *III* oder *II* und *III*, wie die beistehende Fig. 33 zeigt, angeschlossen, während sehr grosse Gebäude, wie Theater, Concertsäle etc. mit allen 3 Leitern verbunden werden und dann entweder mehrere von einander getrennte Stromkreise erhalten oder mit Umschaltern versehen werden, so dass sie sich entweder an die Leiter *I* und *III* oder an *II* und *III* anschliessen können. Da wo Motoren aufgestellt werden, und also vom gelieferten Strom mechanische Arbeit geleistet werden soll, werden zweckmässiger Weise dieselben an Leiter *I* und *II* angeschlossen, eben weil man zwischen diesen die doppelte elektromotorische Kraft als zwischen *I* resp. *II* und *III* zur Verfügung hat.

Edison scheint grosses Zutrauen auf vollen Erfolg des Drei-Leitersystems zu haben und hat auch in Sunbury (Pens.) und Shamokin (Pens.) in dieser Weise bei grossentheils oberirdisch geführten Leitungen seine Beleuchtungs-Anlagen eingerichtet. Wie sich aber die unterirdisch gelegten Dreileiter-Kabel hinsichtlich der Isolation bewähren werden, muss die Zeit lehren; indess es liegt offenbar zunächst kein Grund vor, hier eine geringere Zuverlässigkeit vorauszusetzen, als bei dem Zweileitersystem, und wenn die für 1100 Lampen



Plan für Edison's Central-Station in St. Louis, Missouri.

(12 Dynamo-Maschinen, 6400 Glühlampen à 10 N. K.)

entworfen in „Thomas A. Edison's Central-Station Construction Departement."

65 Fifth Avenue. New York. 17. Sept 1883.

(à 10 Norm. Kerzen, 48/100 Ampère Strom, 217 Ohm Widerstand) ausreichende kleine Central-Anlage in Brockton (Mass.), wo alle Hauptleitungen unterirdisch geführt sind, sich fortdauernd bewährt, so sollen auch die in Aussicht genommenen grösseren centralen Anlagen in Hartford (Conn.), die zunächst nur 3200 Lampen (10 Norm. Kerzen) umfassen, aber eventuell auf 9600 Lampen ausgedehnt werden soll, ferner die in Worcester, St. Louis (Miss.) u. s. w. in gleicher Weise eingerichtet werden. Tafel II giebt den Plan der für letztere Stadt in Aussicht genommenen Edison-Centralstation, und wird wohl auch ohne weitere Erklärung die Gesammtanordnung der Station hinlänglich deutlich zeigen.

II. Edison'sche Einzelanlagen.

§ 43. Die Zahl derjenigen Beleuchtungsanlagen Edison's, welche nicht von centraler Stelle aus betrieben werden, ist eine ungemein grosse. Je nach dem Bedarf an Licht variirt die Grösse der bei ihnen verwendeton Dynamomaschinen; die gewöhnlichen Nummern derselben sind die folgenden:

Zahl der Lampen (à 16 N.-K.)	Bezeichnung
15	Dynamo E
60	„ Z
125	„ L
250	„ K
350	
500	„ R
1200	„ C

Die folgende Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Daten über die Zahl der zu treibenden Lampen, der erforderlichen Kraft, Preise u. s. w. für einige der oben erwähnten Maschinen auf Grund der Angaben Edison's (s. folgende Seite).

Nebenstehende Fig. 34 giebt die Abbildung einer sogen. 60-, Fig. 35 die einer 100-Lichter-Maschine. Beide Maschinen unterscheiden sich, wie man erkennt, sehr wesentlich in ihrer Bauart. Während die erstere sehr hohe Elektromagnetschenkel hat und einen verhältnissmässig kurzen Trommelinductor, sind bei Fig. 35 die Verhältnisse gerade umgekehrt. Die Schenkel der feststehenden Erregungs-Elektromagnete der Maschine sind bedeutend verkürzt, dafür

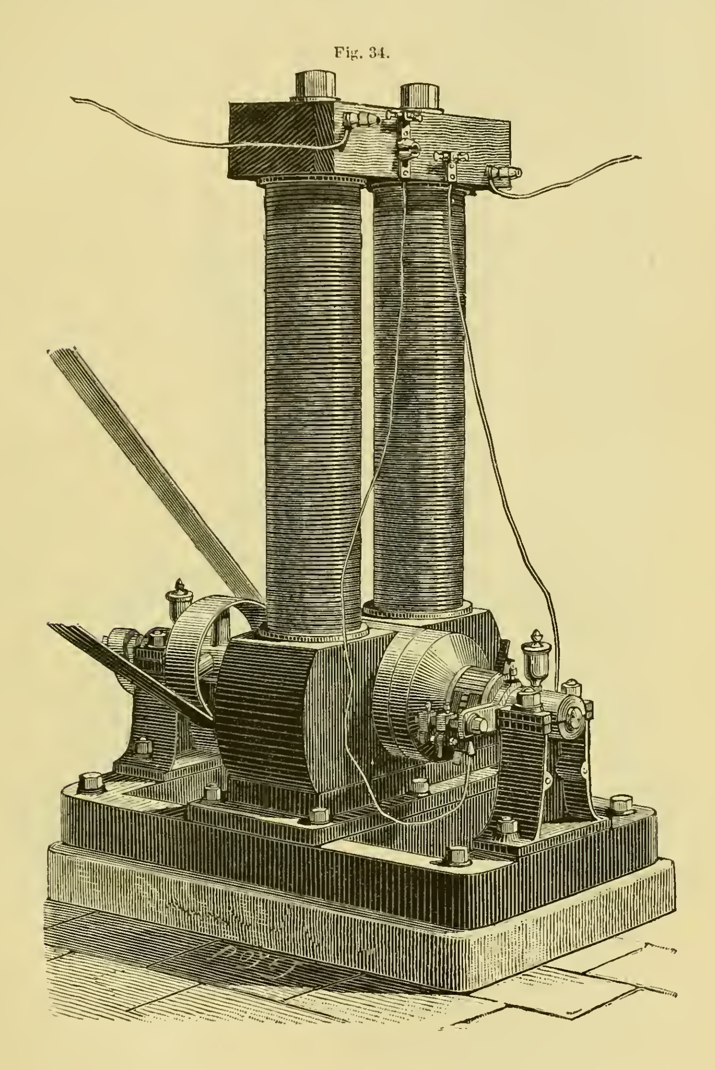
	60 Licht-Maschine	150 Licht-Maschine	250 Licht-Maschine	350 Licht-Maschine
Gesammte hervorgebrachte Kerzenstärke	960	2400	4000	5600
Zahl der A-Lampen à 16 Norm.-Kerzen	60	150	250	350
„ „ B- „ 8 „	120	300	500	
erforderte Kraft in Pferde-Kräften .	9	22	35	50
Zahl der 16-Kerzen-Lampen [1]) pro 1 Pferde-Kraft	$6^2/_3$	7	7,1	7
Zahl der 8-Kerzen-Lampen pro 1 Pferde-Kraft	$13^1/_3$	14	14,2	
Umdrehungszahl d. Armatur pro 1 Min.	1200	850	900	1100
Riemscheibe-Durchmesser	25 cm	35 cm	35 cm	30 cm
„ Breite	15 „	23 „	23 „	25 „
erforderliche Bodenfläche f. d. Masch.	114×75cm	150×75cm	180×75cm	190×85cm
Höhe	1,8 m	2 m	2 m	2,10 m
Gewicht in Kilo	1400	2700	3700	4100
Preis incl. der 16-Kerzen-Lampen .	4800 M.	8000 M.	12000 M.	16000 M.
„ „ „ 8- „ .	5280 „	9200 „	14000 „	

aber sind an Stelle der zwei einzelnen Schenkel (Fig. 34) nun deren vier eingeführt, was hauptsächlich den Zweck hat, breitere Polschuhe an den Elektromagneten und dementsprechend eine längere Trommelarmatur anwenden zu können. Es wird dadurch ein grösserer Theil des auf den Inductor aufgewickelten Drathes der Inductionswirkung der Erregungsmagnete ausgesetzt, als das bei den kürzeren, früher von Edison verwendeten Armaturen der Fall ist. Der Nutzeffect der Edison-Maschinen soll durch diese Abänderung im Bau wesentlich gesteigert sein. Alle neueren Edison-Maschinen entsprechen daher im Allgemeinen in ihrer Construction derjenigen von Fig. 35, nur dass die Erregungsmagnete bei den grösseren Maschinen sechs statt der vier in Fig. 35 angegebenen Schenkel haben. Fig. 34 ist hiernach eigentlich ein veraltetes Modell der Edison-Maschinen und mehr des historischen Interesses wegen noch hier abgebildet worden. Dass bei den Einzelanlagen keine Messapparate wie bei Central-Anlagen erforderlich sind, ist selbstverständlich, da ja hier Producent und Consument der Elektricität in der Regel dieselbe Person ist, anderenfalls wird ein Abkommen über ein Pauschquantum getroffen, falls etwa mehrere Gebäude von einer Stelle aus

[1]) Die Edison-Companie giebt eine schriftliche Garantie, dass ihre Dynamo-Maschinen für jede sie treibende, von der Dampfmaschine indicirte Pferdekraft Strom für mindestens 6 Edison-Lampen (à 16 N.-K.) liefere.

mit elektrischem Strome gespeist werden. Die Wartung der Maschine hat dann gewöhnlich der Heizer des Hauses mit zu besorgen und er hat dann auch je nach Angabe des Indicators (Fig. 20 Seite 71)

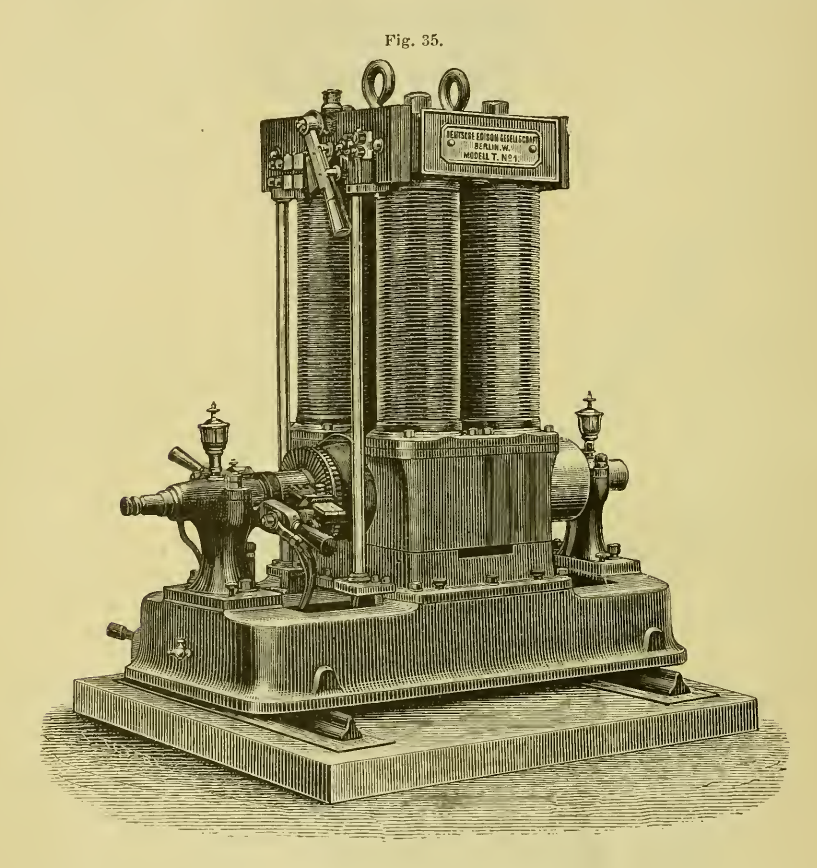
Fig. 34.



durch Einschalten passenden Widerstandes des Regulators (siehe Abbildung 21 Seite 72) die elektromotorische Kraft der Maschine in der geeigneten Weise zu variiren. Um jedoch auch diese Arbeit,

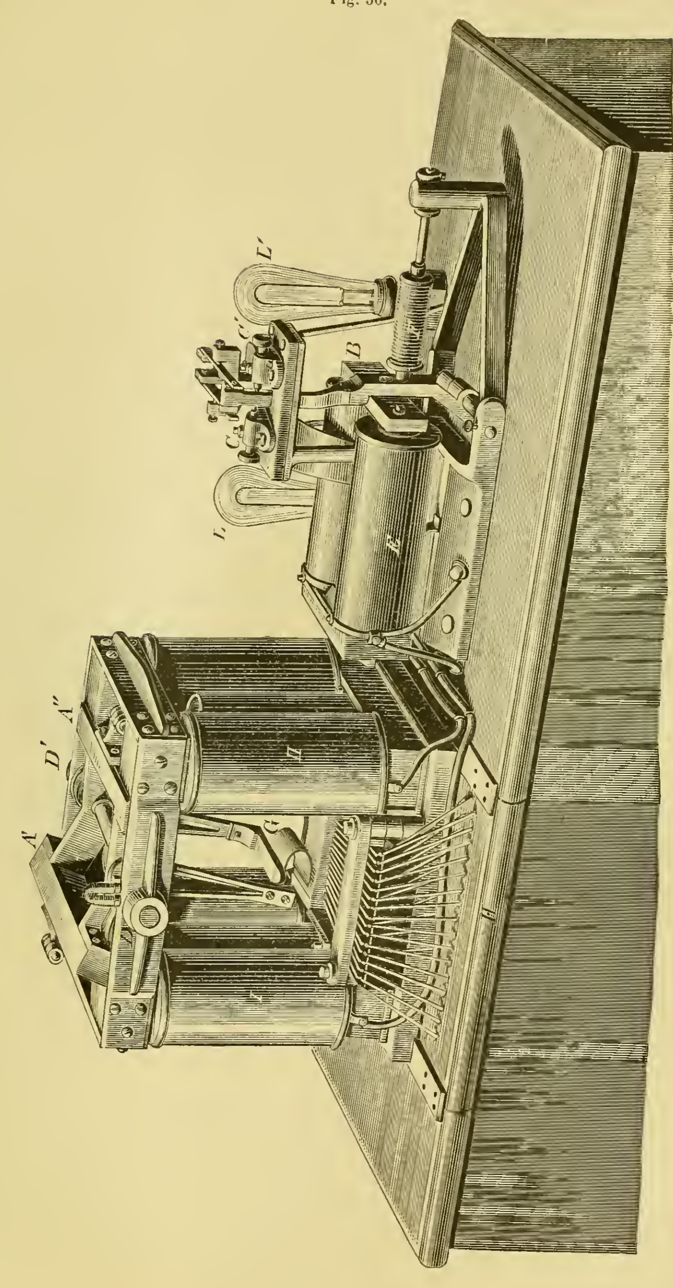
deren Versäumung immerhin die Lampen gefährden könnte, dem Wartepersonal der Maschine abzunehmen, hat Edison einen selbstthätig wirkenden Widerstands-Regulator erdacht, dessen Princip im Grunde dem des Indicators ähnlich ist. Der auf der rechten Hälfte beistehender Fig. 36 dargestellte Apparat ist nichts anderes als der auf Seite 70 besprochene Indicator und, je nachdem die anziehende

Fig. 35.



Kraft des Elektromagneten E auf den Anker B oder die der Feder F überwiegt, wird entweder der Contact bei C oder bei C' geschlossen, und dadurch das Einschalten der Lampe auf der rechten resp. auf der linken Seite der Figur bewirkt. Gleichzeitig aber, und dies ist das Wesentliche, wird auch hierdurch entweder der Elektromagnet I oder der Elektromagnet II in den Stromkreis eingeschaltet

Fig. 36.



und dadurch die Lage des um die Axe *DD'* drehbaren Ankers *A'* oder *A''* verändert. Wie aus Fig. 36 ersichtlich, hat die Axe *DD'* einen nach unten gehenden Ansatz der in eine gekrümmte Contactfeder *G* endigt. Die Stellung dieser letzteren wird daher auch je nach der anziehenden Wirkung des Elektromagneten *I* resp. *II* auf *A'* resp. *A''* wechseln, und hierdurch wird in leicht ersichtlicher Weise der Contact von *G* hergestellt mit anderen und anderen Widerständen, welche letzteren aus je 3 dünnen, nebeneinandergeschalteten Neusilberdräthen bestehen, die im Innern des den ganzen Apparat tragenden Kastens ausgespannt sind und zu welchen die in Fig. 36 schräg nach abwärts verlaufenden Dräthe *H* führen. Die anderen, dann noch freien Enden der erwähnten Neusilberdräthe sind sämmtlich mit einander und mit dem einem Ende des auf die Schenkel der Erregungs-Elektromagneten aufgewickelten Drathes stehend verbunden. Man erkennt, dass in Folge der je nach den Stromschwankungen wechselnden Stellung des Schleifcontactes *G* andere und andere Widerstandsdräthe in die Drathleitung der Erregungsmagnete der Edison'schen Maschine, in deren Leitung sie eingeschaltet sind, von dem Regulator selbstthätig werden eingeschaltet werden und dass es somit möglich sein wird, ohne irgend welches manuelle Zuthun doch stets die elektromotorische Kraft der Maschine je nach der Zahl der gerade zu speisenden Glühlampen in der richtigen Weise durch den Apparat selbst modificiren zu lassen. Ein solcher selbstregulirender Apparat ist beispielsweise im „State house“ in Boston (House of Representatifs), in welchem der Sitzungssaal elektrisch beleuchtet wird, seit etwa einem Jahre im Gebrauch und functionirt zur vollsten Zufriedenheit.

Capitel II.

Glühlicht-Systeme anderer Companieen[1]).

§ 44. Glühlicht-Anlage der „United States Electric Lighting Co.“

Nächst dem Edison-Glüh-Licht ist das der United States Companie das am meisten in Amerika verbreitete; dieselbe benutzt Weston'sche Dynamomaschinen und Maxim'sche Glühlampen, welch' letztere indess durch Mr. Weston wesentliche Verbesserungen erfahren haben.

Weston's Dynamomaschine für Glühlicht-Beleuchtung zeigt die beistehende Figur 37. Die kleineren Maschinen sind in der Regel auf einem verschiebbaren Schlitten montirt, der den Treibriemen auch während des Betriebes mehr oder minder zu spannen erlaubt. Die Maschine ist eine sogenannte Compound-Maschine, deren Wesen und Eigenthümlichkeit darin besteht, dass sie 2 Dräthe verschiedener Dicke als Umwindung der Erregungsmagnete der Maschine hat. Daher bilden diese Maschinen ein Mittelding zwischen den Siemens'schen Maschinen mit „reiner“ Dynamoschaltung (Fig. 5, pag. 28) und den Wheatstone'schen Nebenschlussmaschinen (Fig. 13, pag. 41), und werden deshalb auch als Dynamomaschinen mit „gemischter Wickelung“ bezeichnet. Fig. 38 zeigt das Stromschema der Maschine. Das Eigenartige derselben ist, dass die durch Ein- resp. Ausschalten von Lampen im Aussen-Stromkreise eintretende Widerstandsänderung selbstthätig die elektromotorische Kraft der Maschine in der Art regulirt, dass die Zuleitungen zu den Kohlenfasern der einzelnen Glühlampen auf einem elektrischen Spannungsunterschiede gehalten werden, der unverändert bleibt, wie viele Lampen auch brennen mögen. Der Gedanke, eine solche Maschine zu construiren, rührt ursprünglich von Sinsteden[2])

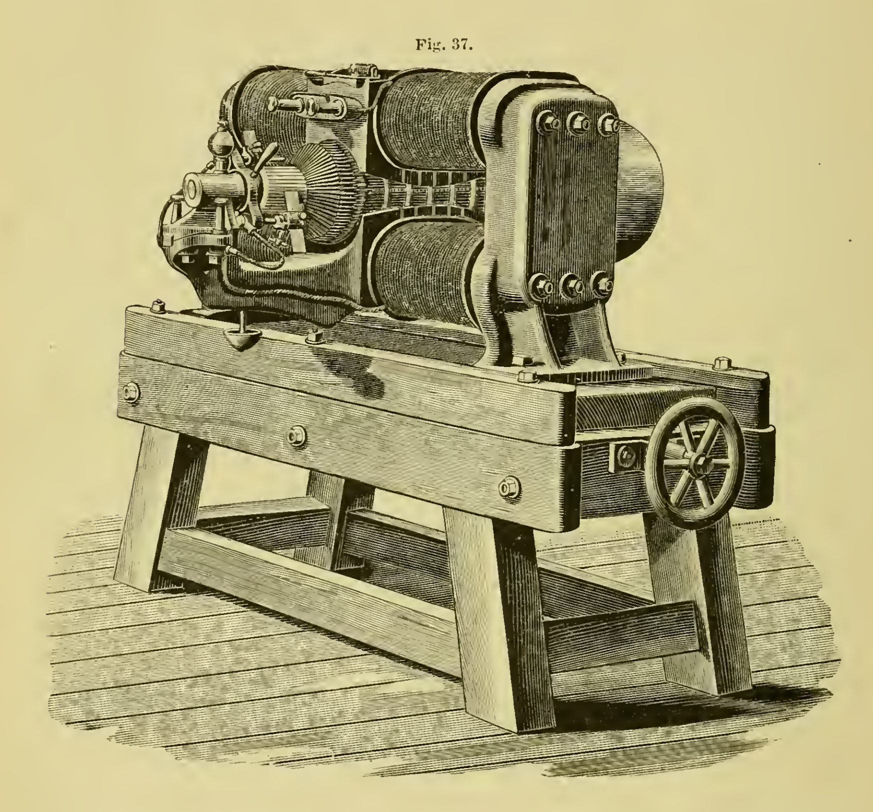
---

[1]) Das System Brush-Swan wird erst am Ende des zweiten Abschnittes Erwähnung finden.

[2]) Vergl. übrigens auch: Frank Geraldy, la lumière électrique 1883 p. 289 bis 291, ibid. 1881, Decemberheft.

her. Auch Siemens und Halske verwenden derartige Maschinen bei ihren Glühlicht-Anlagen und Hr. Ernst Richter hat über die mit ihnen erhaltenen Versuchsresultate und ihre Construction einige interessante Angaben[3]) veröffentlicht, die — wenigstens auszugsweise — hier Platz finden mögen. Der Gedankengang, welcher zur Construction der Maschine führte, ist der folgende:

Fig. 37.

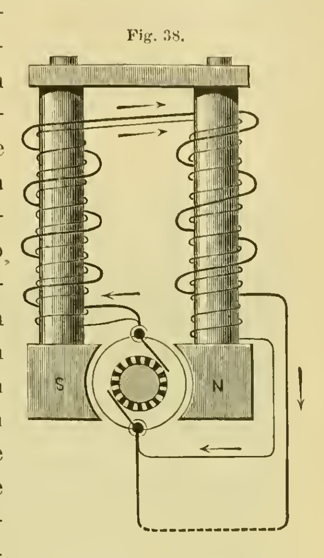


Bei einer elektrischen Maschine, deren Elektromagnete durch einen constanten Strom erregt werden, nimmt die Helligkeit der Glühlampen mit abnehmender Lampenzahl zu; dasselbe in noch erhöhterem Masse tritt bei Maschinen ein, deren Elektromagnete im Nebenschlusse liegen. Bei Maschinen endlich mit dynamoëlektrischer Schaltung wird, wenn nach und nach immer mehr Glüh-

3) Ernst Richter, El. Z. IV, 163, 1883.

lampen ausgeschaltet werden, im Allgemeinen die Lichtstärke erst grösser, dann kleiner und sinkt endlich sehr schnell, so dass die Lampen bei einer gewissen geringen Anzahl überhaupt nicht leuchten.

Fig. 38.



Sollen die Lampen einer Glühlichtanlage einzeln beliebig entzündet oder gelöscht werden können, so müssen sie, um von einander unabhängig zu sein, alle parallel geschaltet werden, und da ja die Lichtstärke einer Glühlampe von der an den Endpunkten ihrer Kohlenfaser herrschenden Potentialdifferenz abhängt, so werden sie offenbar nur dann die gewünschte Lichtstärke dauernd ergeben, wenn sie unter einer bestimmten, elektrischen Spannung stehen, die unabhängig von der Zahl der gerade brennenden Lampen ist. Mit anderen Worten heisst das: Die an den Zuleitungen zur Lampe durch die Dynamomaschine hervorgebrachte elektrische Spannung, die wir kurz als „Klemmenspannung“[4]) bezeichnen wollen, soll, bei constanter Tourenzahl der Maschine, constant sein für jeden beliebigen äusseren Widerstand.

Kann eine Maschine gebaut werden, die dieser Bedingung genügt, so sind offenbar alle bisher nöthigen Hülfsapparate, selbstthätige oder unselbstthätige, überflüssig, und es ist nur erforderlich, die Geschwindigkeit der Maschine constant zu erhalten.

Wie weit die Bedingung, dass die Klemmenspannung, bei constanter Tourenzahl, constant für jeden beliebigen äusseren Widerstand sein soll, bei den bisher üblichen Anordnungen der elektrischen Maschinen erfüllt ist, wird an den in Fig. 39 zusammenge-

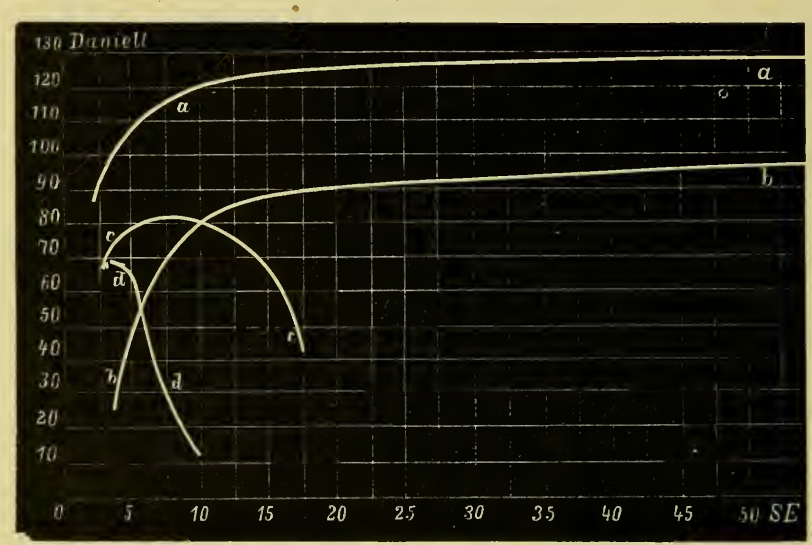
---

[4]) „Klemmenspannung“ und „elektromotorische Kraft“ sind nur in dem Falle identisch, wenn der innere Widerstand der Maschine gegen den des äusseren Schliessungskreises verschwindend klein ist, eine Bedingung, die für gewöhnlich nicht zutrifft. Es ist demgemäss denn auch im Allgemeinen die elektromotorische Kraft einer Maschine nicht constant, wenn ihre Klemmenspannung trotz eintretender Aenderungen im Aussenstromkreise constant bleibt, und umgekehrt.

stellten Curven der Klemmenspannung erkenntlich, welche alle mit derselben Maschine D_{17} (200) bei der Tourenzahl von 960, aber bei verschiedenen Elektromagnetbewickelungen und verschiedenen Schaltungen erhalten sind.

Die Curve *a* wurde erhalten, als die Elektromagnete der Maschine durch einen constanten Strom von 17 $\frac{\text{Dan.}}{\text{S.-E.}}$ erregt wurden; Curve *b*, als die Elektromagnete dünndrathig bewickelt waren und im Nebenschlusse zum Anker lagen, und Curve *c*, als die Maschine dickdrathige Elektromagnetbewickelung hatte und dynamoëlektrisch

Fig. 39.

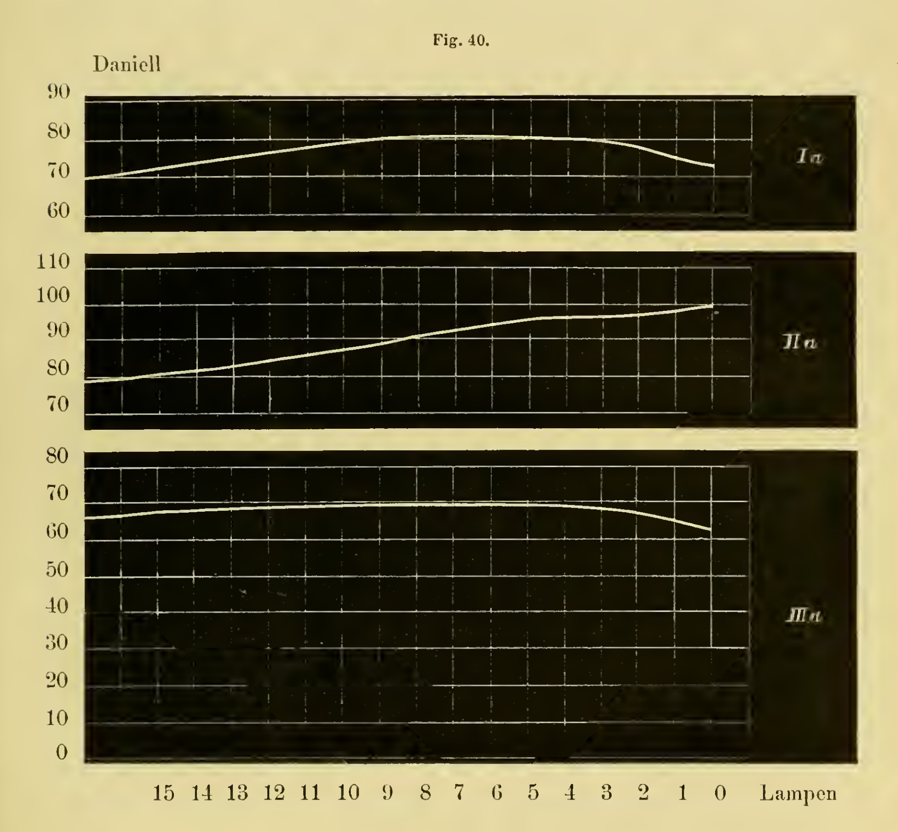


geschaltet war. Als Ordinaten sind die gemessenen Klemmenspannungen, als Abscissen die äusseren Widerstände, durch welche die Maschine geschlossen war, aufgetragen.

Man bemerkt, wie bei zunehmendem Widerstande, d. h. bei sinkender Lampenzahl, z. B. bei *b*, die Spannung steigt, also auch die Lichtstärke zunimmt. Die Curve der Klemmenspannung einer Maschine mit dynamoëlektrischer Schaltung (Curve *c*) lässt sich durch Verändern der Elektromagnetbewickelung in die Curve *d* verwandeln, welche mit wachsendem Widerstande sinkt, im Gegensatze zu Curve *b*, welche steigt. Der Gedanke, diese beiden Schal-

tungen — die dynamoëlektrische und die Nebenschlussschaltung — auf einer Maschine zu vereinigen, lag daher nahe, und so entstand die „gemischte Schaltung“, welche von Siemens und Halske in verschiedener Weise ausgeführt worden ist. Es ist dabei gleichgültig, ob je zwei der vier Elektromagnetschenkel dünnen und die anderen zwei dicken Drath erhalten, oder ob auf jeden der vier

Fig. 40.



Schenkel zwei Bewickelungen, die über- oder nebeneinander liegen können, aufgewickelt werden. Die dünndrathige Bewickelung kann entweder im Nebenschlusse zum Anker oder im Nebenschlusse zur ganzen Maschine liegen; während die dickdrathige Bewickelung entweder vom gesammten Hauptstrom oder von einem bestimmten Theile desselben durchflossen wird.

Die von Hrn. E. Richter im Siemens und Halske'schen

Institut ausgeführten Versuche wurden an einer Maschine angestellt, welche 4 zum Theil mit dünnen, zum anderen Theil mit dickem Drath bewickelte Elektromagnetschenkel besass. Der Zweck der Untersuchung war, die Abhängigkeit der Klemmenspannung der Maschine bei ungeänderter Tourenzahl (960), aber variablem äusseren Widerstande für verschiedene Widerstandsverhältnisse der Wickelungsdräthe der Elektromagnetschenkel zu finden. Die Versuchsresultate wurden zu Curven (Fig. 40) zusammengestellt, in welchen die Abscissen die Lampenzahl, und die Ordinaten die dementsprechenden Klemmenspannungen der Maschine angaben, und zwar sind Lampen von 60 *S.E.* Widerstand (heiss) zu Grunde gelegt, entsprechend den zu jener Zeit von Siemens und Halske fabricirten Glühlampen. Die in Fig. 40 aufgeführten Curven zeigen sehr deutlich, um wieviel sich die Klemmenspannung ändert, wenn eine bestimmte Anzahl Lampen aus- oder eingeschaltet wird, bei welcher Lampenzahl die höchste Spannung liegt u. s. w.

Die Curve Ia wurde bei Anwendung einer Maschine erhalten, bei welcher 2 ihrer Elektromagnetschenkel mit je 3 Lagen 3,5 mm dicken Drathes, die anderen 2 mit je 19 Lagen Drath von 1,2 mm Durchmesser bewickelt waren. Der dicke Umwickelungsdrath bildete einen Theil des Hauptstromes, die dünndrathige Wickelung lag im Nebenschluss zum Anker (genau wie in Fig. 38, pag. 113).

Curve IIa wurde erhalten, als jeder der 4 Elektromagnetschenkel der Maschine mit je 12 Lagen 1,2 mm und mit 2 Lagen 3,5 mm-Drath bewickelt war. Diese beiden Maschinen ergaben also wesentlich von einander verschiedene Klemmenspannungs-Curven, denen zufolge die erstere Maschine bei Einschaltung von 3 bis 9 Lampen eine nahezu constante Klemmenspannung ergeben hat, während hingegen bei der zweiten Wahl der Wickelung die Klemmenspannung bei Einschaltung einer Lampe ein Maximum gewesen wäre und mit zunehmender Zahl eingeschalteter Lampen ständig kleiner und kleiner wird. Dem analog würde sich auch die Lichtstärke der Lampen ändern.

Die Curve IIIa endlich wurde bei Versuchen mit einer Maschine gewonnen, von deren Elektromagnetschenkeln zwei mit je zwei Lagen von 3,5 mm starkem Drath und zwei mit je 29 Lagen von 1 mm starkem Drath bewickelt waren. Diese Maschine zeichnete sich durch eine ziemlich constante Klemmenspannung aus, wie

man aus der Curve erkennt. Die Spannung wächst, wenn mehr und mehr Lampen ausgeschaltet werden, langsam um etwa 4 Daniell, sinkt dann wieder und erreicht bei einer Lampe denselben Werth, den sie bei der vollen Zahl (20) hatte.

Die gemischte Schaltung ist seitdem von Siemens und Halske für kleinere sowie für grössere, bis zum Betriebe von 200 Edison-A-Lampen geeignete Maschinen so durchgeführt worden, dass, bei constanter Tourenzahl, beliebig viele Lampen aus- und wieder eingeschaltet werden können, ohne dass sich die Lichtstärke der übrigen wesentlich ändert. Bis zu welchem Punkte dieses der Fall ist, hängt — wie aus den oben mitgetheilten Curven hervorgeht — von dem Verhältniss des Widerstandes der beiden Wickelungen der Erregungs-Elektromagnete der betreffenden Maschine ab.

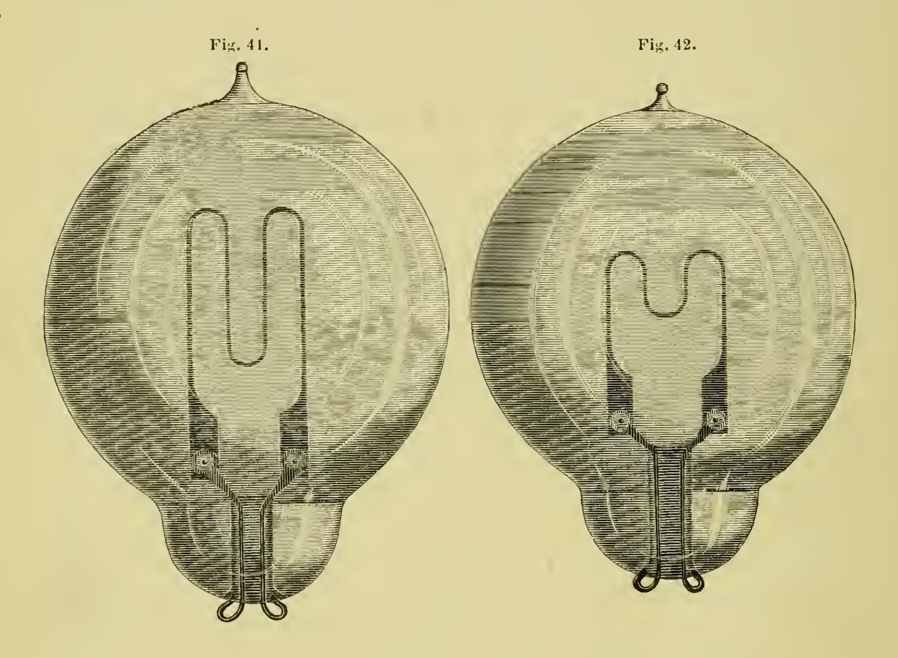
§ 45. Maxim-Lampen.

Die Weston'sche in Fig. 37 Seite 112 abgebildete Dynamomaschine entspricht in ihrer Wickelung genau dem eben Auseinandergesetzten, und regulirt sich selbst ohne Zuhülfenahme irgend eines besonderen Mechanismus derart, dass man beispielsweise von einer etwa gerade 100 Lampen speisenden Maschine 99 auf einmal ausschalten kann, ohne im Geringsten dadurch die Lichtstärke der übrigbleibenden 100sten Lampe zu alteriren, und ohne dass man irgend welche Aenderung an der Maschine selbst vorzunehmen braucht. Nur im Moment des Aus- oder des Hinzuschaltens neuer Lampen bemerkt man ein geringes Aufzucken der bereits brennenden.

Der Widerstand der Armatur einer Weston'schen 250-Lichtmaschine ist $^{11}/_{10000}$ Ohm, der der Umwickelungsdräthe der Erregungs-Magnete 23 Ohm, die elektromotorische Kraft 60 Volt. Der Widerstand der gegenwärtig gebrauchten 16-kerzigen Maxim-Lampen beträgt (heiss) 75 Ohm, die Stromstärke 0,8 Ampère pro Lampe.

Die Maxim'schen von der United States Co. verwendeten Glühlampen zeigen die nebenstehenden Figuren 41 und 42; die Kohlenfaser der Lampen wird hergestellt durch Ausstanzen eines, wie die Abbildungen zeigen, M-förmig gestalteten Streifchens Papier. Diese letztern werden dann zwischen Papieren, die mit Graphitpulver eingerieben sind, in eiserne Kästen verpackt und durch Erhitzen im Ofen theilweise verkohlt. Darauf aus den Muffeln herausge-

nommen werden sie in einen passenden Halter geklemmt und unter eine Luftpumpenglocke gebracht, die evacuirt und dann bis zu etwa 20 mm Druck mit dem Dampf eines leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffes erfüllt wird. Durch nun erfolgendes Hindurchleiten eines elektrischen Stromes wird hierauf die Kohlenfaser zu stärkerem und stärkerem Glühen und gleichzeitiger, völliger Verkohlung gebracht. Diese Behandlung in Kohlenwasserstoffdampf hat aber noch einen weiteren Zweck. Durch das Ausstanzen der Papierfaser (Cartonpapier 0,14 mm dick; Breite der Faser 0,25 mm, Länge etwa 140 mm)

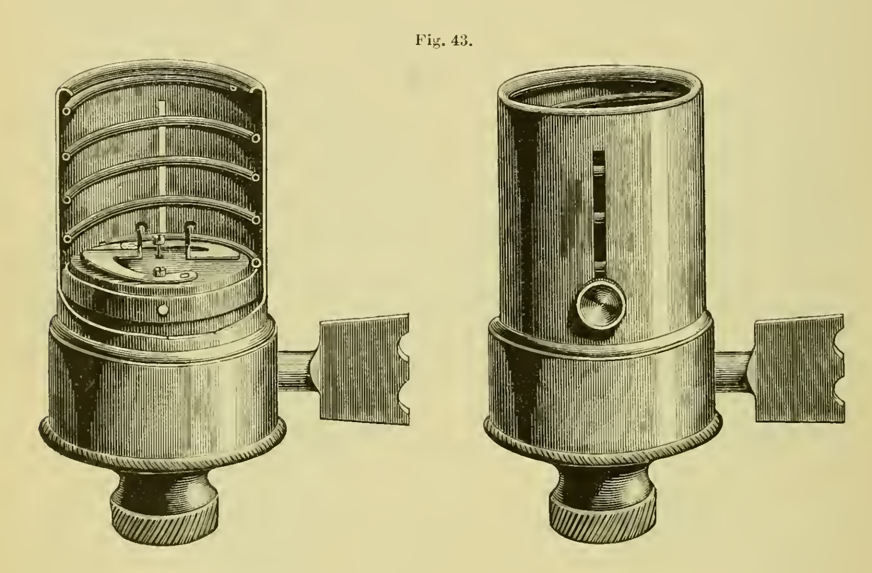

Fig. 41. Fig. 42.

kann natürlich nie eine völlige Gleichheit erreicht werden, und nach dem Verkohlen werden daher um so mehr Ungleichheiten des Querschnittes hervortreten, die einen ungleichen Widerstand der einzelnen Lampenkohlen und also ungleich starkes Glühen der einzelnen Theile einer Faser hervorbringen müssen. Um hier einen Ausgleich zu schaffen, erhitzt man die Maxim'schen bereits theilweise im Ofenfeuer verkohlten Papierfasern unter der Luftpumpenglocke eben in jener erwähnten künstlichen Atmosphäre von Kohlenwasserstoffen. Diese letzteren werden bei starkem Erhitzen bekanntlich in ihre

Bestandtheile unter Ausscheidung von Wasserstoff und Abscheidung von Kohlenstoff zerlegt und zwar an denjenigen Stellen am raschesten und lebhaftesten, an welchen die Erhitzung am grössten ist. Da nun aber gerade die dünnsten Stellen der Papierfaser offenbar am stärksten durch den elektrischen Strom zum Glühen angefacht werden, so wird auch gerade hier die stärkste Zersetzung des umgebenden Kohlenwasserstoffdampfes statthaben und sich in Folge dessen hier der stärkste Absatz von Kohle aus dem zersetzten Kohlenwasserstoff auf der glühenden Kohlenfaser bilden und an ihr festbacken. Man erkennt, dass somit eine Ausgleichung der Dicke der verkohlten Papierfaser erreicht werden wird. Eine selbstthätig wirkende, elektromagnetische Vorrichtung unterbricht dabei den zum Glühen der Faser verwendeten elektrischen Strom, sobald die glühende Kohlenfaser einen ganz bestimmten Widerstand erreicht hat, und es werden auf diese Weise in der That Lampen erhalten, die hinsichtlich der Gleichheit ihres Widerstandes in einer Weise übereinstimmen, wie das bei keiner anderen Lampensorte der Fall ist. Es wird jedoch dem von anderer Seite entgegengehalten, dass diese Uebereinstimmung der Widerstände der einzelnen Lampen allerdings der Fall ist, wenn die Lampen aus der Fabrik versendet werden, dass aber dieselbe sehr bald aufhört zu bestehen, wenn die Lampen eine Zeit lang in Gebrauch gewesen sind. Immerhin aber garantirt die Companie für eine 800 Brennstunden lange Lebensdauer ihrer Lampen. Im Postoffice in New York waren 97 Maxim'sche Lampen seit dem 13. März 1882 im Betriebe (Brenndauer pro Woche 140 Stunden), bis zum 1. September 1882 ergab sich als durchschnittliche Lebensdauer der Lampen 1850 Stunden. Fünfzehn der obigen Lampen hatten 3456 Stunden im Ganzen gebrannt und waren trotzdem in guter Verfassung. (Sind dabei die Lampen aber stets auch auf richtige Kerzenzahl gebracht worden?) Nach dem fertigen Verkohlen der Papierfasern werden dieselben mittels kleiner Schräubchen an die bereits in einer Glasröhre eingeschmolzenen Platindräthchen befestigt, in Glaskugeln von etwa 60 mm Durchmesser eingeschmolzen, und letztere mittels Geissler'scher Quecksilberluftpumpen möglichst vollkommen evacuirt. Bezüglich der Festigkeit der Kohlenfaser der Maxim'schen Lampen verdient es hervorgehoben zu werden, dass sie eine ungemein hohe ist. Während die Papierfaser, wenn sie nur erst theilweise im Ofen verkohlt

ist, beim geringsten Versuch, sie zu biegen, bricht, so kann man nach völligem Verkohlen und der Behandlung in Kohlenwasserstoffdampf den einen Schenkel um 2 volle Umdrehungen gegen den anderen verdrehen und biegen, ohne dass er bricht. Die Befestigung der fertigen Lampen an Ort und Stelle geschieht in ähnlicher Weise wie bei den Swan'schen Lampen durch Einhängen der heraussteheuden Platinösen in kleine Häkchen, gegen die sie — genau in der von Swan angegebenen sinnreichen Weise — durch eine Messingdrathfeder angedrückt werden (vergl. die nebenstehenden Figuren).

Fig. 43.



§ 46. Verschiedene Ansichten über das Material für die Kohlenfaser von Glühlampen.

Sehr sonderbar ist es, wie vollständig die Meinungen Edison's und Maxim's etc. hinsichtlich des zur Glühlampenkohle zu verwendenden Materials auseinandergehen. Edison hält structurlose Kohle, wie sie Maxim durch Verkohlung von Papier, Swan durch Anwendung von Baumwollenfäden u. s. w. herstellen und für besser geeignet halten als structurzeigende, für durchaus schlecht. Seiner Ansicht gemäss besitzt allein die Kohle, welche aus Fasern erhalten

ist, die von der Natur selbst durch das Wachsen der Pflanzen aufgebaut sind, die zur Construction einer Glühlampe nöthigen Eigenschaften, nämlich grosse Widerstandsfähigkeit gegen äussere, einwirkende Kräfte und gegen starke Erhitzung. Er sagt, es müsse die fertige Kohle noch die natürliche Structur der Pflanzenfaser ungeändert zeigen, das Zellengewebe erhalten sein, das ursprüngliche Material so wenig als möglich verändert werden, und jede Behandlung, die etwa bezweckt, die Zellen oder die Poren der Faser mit structurloser Kohle auszufüllen oder ihren Widerstand zu verändern, wie das beispielsweise bei den Maxim'schen Lampen durch Erhitzung der Kohlenfaser in Gasolindampf geschieht, sei durchaus zu verwerfen. Dieser Ansicht ganz entgegengesetzt ist die der andern Lampenfabrikanten, deren Streben gerade umgekehrt dahin geht, für die Kohlen ihrer Lampen ein möglichst amorphes, structurloses Material zu verwenden. Es erscheint demnach wahrscheinlich, dass weder das eine noch das andere besonders wichtig für die Faser der Lampe selbst sei, vielmehr wird wohl nur das eine Material je nach der Art der Befestigung an den eingeschmolzenen Platindräthen Vorzug vor den anderen verdienen. Jede Kohle wird in Folge der hohen beim Betriebe der Lampen zur Wirkung kommenden Temperatur graphitartig[1]) d. h. krystallinisch und so werden wir es vermuthlich bei allen verschiedenartigen Lampen mit Kohlenfasern von sehr nahezu der gleichen chemischen Natur zu thun haben.

Centrale Glühlicht-Anlagen irgend bedeutenderer Ausdehnung sind — wie bereits hervorgehoben — bisher nur von Edison angelegt worden, die United States Co. hat jedoch eine grosse Anzahl von Einzelanlagen (Glühlicht) ausgeführt, darunter beispielsweise eine Reihe von grossen Hôtels, Cafés, ferner eine grosse Zahl auf Schiffen, besonders den Dampffähren, die zwischen der New Yorker Halbinsel und den gegenüberliegenden Küsten fortwährend hin und her kreuzen. Von den Hôtels ist besonders das „Hofman house" und das St. Denis Hôtel in New York zu erwähnen, beide werden von der ziemlich weit entfernten Bogenlicht-Station der United States Co. aus betrieben, was möglich ist, da die verwendeten

---

[1]) Vergl. Aron. El. Z. IV p. 248, 1883.

Lampen sämmtlich in Gruppen zu je 7 hintereinandergeschaltet angeordnet sind.

Mr. Weston behauptet, bei Anwendung von 16-kerzigen Lampen von 250 Ohm Widerstand und unter Benutzung oberirdisch geführter Leitungen in Städten, wo die Gaspreise sich auf 8 bis 12 Mark pro 1000 engl. Cubikfuss belaufen, mit gutem Erfolge mit Gaslicht concurriren zu können. Sein Streben geht, wie das Edison's, auch darauf aus, Lampen von hohem Widerstand bei geringer Licht- und Stromstärke zu construiren. Wie weit ihm das mit Hülfe eines neuen, Collodiumartigen Materials, das sich zu sehr bedeutender Dünnheit zwischen Stahlcylindern auswalzen lässt, an Stelle des bisher verwendeten Cartonpapiers gelingen wird, kann noch nicht abgesehen werden. Was die äussere Form der Maxim'schen Lampen anlangt, so ist sie ohne Zweifel geschmackvoller als die der meisten anderen, besonders der Edison-Lampen, und es ist bei allen Maxim'schen Lampen die Gestalt des Kohlenbügels überaus schön und gleichmässig. — Apparate zum Messen des für Glühlichtbeleuchtungen gelieferten Stromes hat Weston bisher noch nicht in Anwendung gebracht. Alle seine Glühlicht-Beleuchtungen gehören eben in die Kategorie der Einzelanlagen.

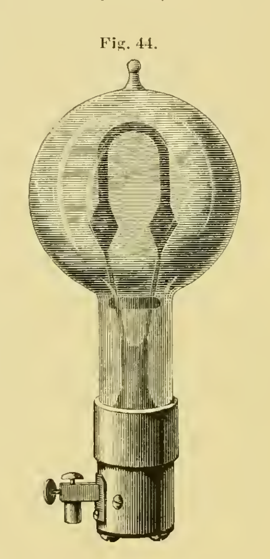
Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass auch bei den Weston'schen Glühlichtanlagen in ausreichender Weise Bleisicherungsdräthe in die Zuleitungen eingeschaltet werden. Weston verwendet dazu Blechstreifen aus einer Legirung, deren Schmelzpunkt noch unterhalb des Siedepunktes des Wassers liegt. Kronleuchter, drehbare Wandarme, Einzellampen, etc. entsprechen genau den von Edison, etc. verwendeten.

§ 47. Lampen der Bernstein-Electric-Light-Manufacturing Co.

Im Gegensatze zu allen übrigen Glühlichtsystemen, welche, wie das im vorhergehenden besprochene Edison'sche und Maxim'sche, möglichst dünne Kohlenfasern von hohem Widerstande und niederer Kerzenstärke verwenden, steht die auf der Wiener elektrischen Ausstellung 1883 zum ersten Male zu Tage getretene Glühlichtlampe von Alex. Bernstein in Boston, welche unter dem Namen der

„Boston-Lampe"[1]) neuerdings viel hat von sich reden machen. Bernstein kam auf den Gedanken, der Kohlenfaser die Form einer möglichst dünnen Röhre zu geben, und verwendete dazu äusserst dünnwandige, aus feinsten seidenen Coconfäden gewebte, hufeisenförmige Röhrchen, welche mit Gummilösung oder Aehnlichem getränkt, dann getrocknet, in Graphitpulver eingebettet, carbonisirt und hierauf in Glasballons eingeschmolzen werden. Der hohle, kreisförmig gebogene Kohlenbügel besitzt bei sehr grosser Oberfläche eine grosse Leuchtkraft und in Folge seines kleinen Querschnittes einen relativ grossen Widerstand, der indess mit dem anderer Lampen verglichen und absolut genommen sehr klein ist. Er beträgt nämlich für die 50-Normalkerzen-Lampen nur 3 bis 4 Ohm (heiss). Eine Lampe mittlerer Sorte — es werden Lampen von 10 bis 300 Norm.Kerzen gefertigt werden — soll nach den Angaben des Fabrikanten blos eine Spannung von 22 Volt, aber dafür 7 Ampère Strom erfordern und hierbei eine Leuchtkraft von 50 Normalkerzen haben. Die beistehende Fig. 44 giebt die Ansicht einer solchen Bostonlampe. Es wird behauptet, dass sich die 50-Kerzen-Lampen bis auf 100 Kerzen Lichtstärke steigern lassen, ohne Schaden zu nehmen. Bei einer Kerzenstärke von 50 Norm.-Kerzen werden 800 Brennstunden als Lebensdauer der Lampen garantirt, falls dieselben mit nicht höherer Potentialdifferenz als den vorgeschriebenen 22, höchstens 30 Volt betrieben werden. Bernstein schlägt vor, die Lampen stets zu je 3 und 3 hintereinandergeschaltet in Parallelschaltung zu verwenden. Der Herstellungspreis der Lampen soll etwa 2 Mark, der Verkaufspreis 4 — 5 Mark betragen. Die Combination von drei 50-kerzigen Bostonlampen genügt, um einen grösseren Raum glänzend hell zu erleuchten und es hält daher dieses System die Mitte zwischen elektrischem Bogen- und Glüh-Licht, ohne jedoch den Nachtheil der Bogenlichtlampen, jede für sich einen Lampenmecha-

Fig. 44.



[1]) Vergl. Polytechn. Notizbl. 1884 p. 2—5; El. Z. IV p. 475 1883.

nismus zu erfordern, zu theilen. Die Oekonomie einer 50-kerzigen Bonstonlampe ist, verglichen mit der der anderen Systeme, eine sehr erhebliche, indess eben diese Oekonomie ist im Grunde doch nur eine scheinbare und der Werth der Lampe dementsprechend ein theilweise illusorischer. Da, wo es sich darum handelt, durch Glühlicht grosse Kerzenstärken von 50 Normal-Kerzen an aufwärts zu erreichen, ist die Lampe jedenfalls ganz ausgezeichnet, ganz an ihrem Platze und sehr ökonomisch, wie ja überhaupt alle Glühlichtlampen um so ökonomischer werden, je höher die Temperatur, also gleichzeitig die Lichtstärke ist, für die wir sie benutzen; aber der Mangel der Boston-Lampen beruht einerseits darin, dass sie eben erst für hohe Lichtstärken ökonomisch, für geringe Lichtstärken aber ganz unökonomisch sind, und dass sie zweitens gerade den Hauptvortheil der Lampen von hohem Widerstande, sämmtlich in Parallelschaltung verwendet zu werden und somit unabhängig von allen anderen Lampen zu sein, ihres kleinen Widerstandes wegen nicht theilen können. Ein Stationsbetrieb, eine Beleuchtungsanlage mit Bostonlampen ist an und für sich ausgeschlossen. Man bedenke eben nur, dass die pro Lampe erforderte Stromstärke 7 (nach Angabe Anderer 5,5) Ampère ist! An sich würde ja die Hintereinanderschaltung der Lampen kein so grosser Fehler sein, wenn eben nicht immer noch die Festigkeit und Haltbarkeit der Kohlenfasern aller Glühlichtsysteme der Natur der Sache nach so viel zu wünschen übrig liesse. Es fehlen hiernach der Bostonlampe gerade die wichtigsten Eigenschaften, nämlich 1) die des ökonomischen Betriebes bei geringer Kerzenstärke und 2) die Möglichkeit der Parallelschaltung derselben. Gerade aber dieses sind die Eigenschaften, welche eine zu allgemeinerem Gebrauche dienende Lampe nothwendigerweise haben muss. Prof. Kittler in Darmstadt, der Vorsitzende der dritten Section der technisch-wissenschaftlichen Commission der internationalen elektrischen Ausstellung in Wien, hat über die mit der Bostonlampe in Wien angestellten officiellen Lichtmessungen ein Attest unlängst ausgestellt, welchem zufolge eine für gewöhnlich bei 60 Norm.-Kerzen benutzte Bernstein'sche Bostonlampe No. 2 bis über 200 Normkerzen hinaufgetrieben worden war, ohne dass die Lampe Schaden genommen hätte. Eine Lampe No. 4 wurde durch immer stärkere und stärkere Ströme in Anspruch genommen, bis die Kohle schliesslich durchbrannte, was bei 616

Norm.-Kerzen Lichtstärke erfolgte. Die 60-Kerzen-Lampe No. 2 erfordert für 60 Kerzen Lichtstärke 151 Volt-Ampères, was pro elektrische Pferdekraft 292 Kerzen ergiebt. Bei den früheren Versuchen in München hatte die Edison-A-Lampe 145, die Swan-Lampe 175, die Maxim-Lampe 109[2]) und nach Pariser Versuchsresultaten im Durchschnitt 195 Normalkerzen pro Pferdekraft ergeben.

So unzweckmässig jedenfalls die Bostonlampe für den gewöhnlichen, vom täglichen Leben erheischten Lichtbedarf des Publikums ist, und so unmöglich eine irgend wie grössere, etwa gar centrale Lichtanlage damit ist, so kann sie doch da, wo es sich darum handelt, grosse Lichtstärken mittelst Glühlichtes zu erzielen, mit grossem Vortheil Verwendung finden, und so unökonomisch sie für kleine Lichtstärken nothwendiger Weise ist, ebenso ökonomisch wird sie bei hohen Lichtstärken.

Ueberhaupt ist die Antwort auf die Frage, wie sich hinsichtlich ihrer Oekonomie etwa das Glüh- zum Bogenlicht oder zu dem anderen künstlicher Lichtquellen verhalte, hauptsächlich abhängig von der angewendeten Lichtstärke des betreffenden Glühlichtes. Allgemein wird sich eine solche Frage überhaupt nicht beantworten lassen. Es wird, wenn wir etwa bei elektrischen Glühlampen deren Lichtstärke bis zu der des Bogenlichtes steigern könnten, vermuthlich die eine Art, das Licht zu erzeugen, sich genau so ökonomisch erweisen, als die andere, denn das, was in beiden Fällen das eigentliche Licht gebende ist, ist der gleiche feste Körper, eben die feste glühende Kohle, welche im Glühlicht allein, beim elektrischen Bogenlicht zum bei weiten grössten Theile das gesammte, gelieferte Licht bedingt.

---

[2]) In Folge ganz ungeeigneter Versuchsbedingungen nur 109, es war eine sog. 28-Kerzen-Lampe während der Versuche nur auf 13,3 Norm.-K. getrieben und so geprüft worden. Vergl. Tab. II pag. 127.

Capitel III.

Messungen an Glühlampen.

§ 48. Zahlen-Ergebnisse der von den Prüfungscommissionen in Paris und München angestellten Versuche.

Um die Glühlampen der verschiedenen Beleuchtungs-Systeme mit einander vergleichen zu können, müssen viele verschiedenartige Punkte in Rücksicht gezogen werden: man wird nur Lampen annähernd gleicher Gebrauchslichtstärke mit einander vergleichen können und dies auch nur dann, wenn die mit ihnen angestellten Untersuchungen bei derjenigen Stromstärke unternommen wurden, bei welcher die Lampen gerade die Lichtstärke, für welche sie bestimmt sind, ausgeben. Man wird weiter die Gründlichkeit ihrer Evacuirung, die Haltbarkeit der Einschmelzstellen zu berücksichtigen, ferner zu beachten haben, ob und in wiefern die Lampen bei fortgesetztem Betriebe etwa einen Kohlenbeschlag auf der Innenwand der Glaskugel absetzen, der sie schliesslich praktisch unbrauchbar werden liesse, kurz man hat die durch viele Einzelheiten bedingte Lebensdauer der zu vergleichenden Lampen und endlich auch die Menge des als Leitungsmaterial erforderlichen Kupfers in Rücksicht zu ziehen; alles Punkte, welche einen wirklichen Vergleich ausserordentlich erschweren. Erst dann wird sich über die Güte der verschiedenen Lampen ein endgültiges Urtheil fällen lassen, aber ehe es möglich sein wird, in dieser Richtung bestimmte Ansichten auszusprechen, werden noch viel zahlreichere Versuchsresultate gesammelt werden müssen, als bis jetzt vorliegen und veröffentlicht sind. Weichen doch auch die Ergebnisse der Untersuchungscommissionen der elektrischen Ausstellungen in Paris und in München in mehrfachen Beziehungen erheblich von einander ab. Professor Ernst Voit in München giebt am Schluss seiner Mittheilungen[1])

[1]) Münchener elektr. Ausstellungs-Ber. Theil II p. 125—126.

über die von der Jury untersuchten Glühlampen 2 Tabellen die Lichtstärken, Stromintensitäten, Potentialdifferenzen, Widerstände (heiss gemessen) etc. enthaltend an, die hier Platz finden mögen.

Die bei der Pariser Ausstellung gewonnenen Resultate sind:

Lampen		Lichtstärke in N.-K.	Widerstand (heiss) in Ohm	Potential-Diff. in Volt	Stromstärke in Ampère	Elektrische Arbeit in		Lichtstärke pro 1 Pferde-Kr.	Anzahl der Lampen pro 1 Pferde-Kr.
						Voltamp.	Pferde-Kr.		
Edison	A	15,38	137,4	89,11	0,6510	57,98	0,0788	196,4	12,28 (16 K.)[2]
„	C	31,11	130,03	98,39	0,7585	74,62	0,0941	307,25	9,60 (32 K.)
Swan	A	16,61	32,78	47,30	1,471	69,24	0,0945	177,92	11,12 (16 K.)
„	B	33,21	31,75	54,21	1,758	94,88	0,1059	262,49	8,20 (32 K.)
Lane-Fox	A	16,36	27,40	43,63	1,593	69,53	0,1025	173,58	10,85 (16 K.)
„	B	32,71	26,59	48,22	1,815	87,65	0,1289	276,89	8,65 (32 K.)
Maxim	A	15,96	41,11	56,49	1,380	78,05	0,1191	151,27	9,45 (16 K.)
„	B	31,93	39,60	62,27	1,578	98,41	0,1337	239,41	7,48 (32 K.)

Die bei der Münchener Ausstellung gewonnenen Resultate sind:

Lampen		mittlere[3]) räumliche Lichtstärke in N.-K.	Widerstand in Ohm	Potential-Diff. in Volt	Stromstärke in Ampère	Elektrische Arbeit in		mittlere räuml. Lichtstärke pro 1 Pferde-Kr.	Anzahl der Lampen pro 1 Pferde Kr.
						Voltamp.	Pferde-Kr.		
Edison	B	11,69	67,68	55,78	0,825	46,02	0,0625	186,90	23,36 (8 K.)
„	A	15,32	139,60	103,05	0,755	77,80	0,1057	144,88	9,05 (16 K.)
Maxim		13,34	47,01	65,07	1,384	90,06	0,1224	108,98	3,89 (28 K.)
Swan	A	10,95	31,91	38,38	1,222	46,90	0,0637	171,78	17,18 (10 K.)
„	B	37,17	87,03	118,02	1,282	151,30	0,2056	180,75	4,52 (40 K.)
Siemens		14,90	104,72	95,74	0,915	87,60	0,1191	125,14	7,82 (16 K.)
Müller	A	18.43	58,62	74,04	1,263	93,51	0,1271	145,01	7,26 (20 K.)
„	B	43,08	59,52	105,22	1,779	187,19	0,2544	169.33	3,39 (50 K.)
„	C	102,35	65,41	155,15	2,367	367,24	0,4991	205,05	2,05 (100 K.)
Cruto		8,47	8,16	22,15	2,715	60,14	0,0817	103,58	10,36 (10 K.)

Einige Bemerkungen mögen diese Tabellen erläutern. Die Messung der Lichtstärken geschah mit Hülfe des Bunsen'schen Photometers, als Einheit des Lichtes diente eine englische Wallrathkerze von 120 Grains Material-Verbrauch pro Stunde. Es entspricht dies der auch in Berlin zu officiellen Zwecken bei den städtischen

[2]) Die in ( ) beigefügten Zahlen geben die Lichtstärke an, für welche die Lampen bestimmt sind.

[3]) Vergl. Seite 133—135.

Gaswerken verwendeten Licht-Einheit; die hier zum Gebrauch kommenden Kerzen zeigen bei 45 mm Flammenhöhe einen Verbrauch von 7,78 g (= 120 Grains) Wallrath in der Stunde. Bei den Pariser Versuchen wurden die Glühlampen so aufgestellt, dass die Ebene des Kohlenbügels einen Winkel von 45° mit der optischen Axe des Photometers bildete, da die von den Glühlampen in der Ebene des Kohlenbügels ausgestrahlte Lichtintensität im Allgemeinen verschieden ist von der Intensität in einer Richtung senkrecht zur Ebene des Kohlenbügels. Man hoffte auf diese Weise hinreichend vergleichbare Mittelwerthe zu erhalten.

Die photometrischen Messungen wurden dann in der Weise ausgeführt, dass durch Regulirung der elektrischen Verhältnisse, die Helligkeit der Glühlampen jedesmal möglichst nahe derjenigen Kerzenstärke, für welche die Lampen bestimmt waren, gebracht wurde. Aus dem gleichzeitig bestimmten Kraftverbrauch ergab sich dann durch Rechnung die in den betreffenden Glühlampen bei Anwendung von einer Pferdekraft erzeugte Anzahl von Normalkerzen. Die auf diese Weise von der Pariser Commission — bestehend aus den Herren Barker, Crookes, Kundt, Hagenbach und Mascart — ermittelten Zahlen sind, wie aus den oben mitgetheilten Tabellen hervorgeht, sämmtlich bedeutend höher als die bei den Münchener Versuchen sich ergebenden. Die Annahme, durch die Bestimmung der Lichtstärke der Glühlampen unter einem Winkel von 45° gegen die Ebene des Kohlenbügels den mittleren Werth der ausgestrahlten Lichtmenge zu erhalten, ist eine mehr oder minder willkürliche und hängt von der Beschaffenheit der benutzten Lampen ab. Ohne Zweifel ist die Vertheilung der Helligkeit in verschiedenen Richtungen um eine verticale Axe herum individuell für jedes Exemplar einer Glühlampe und ausserdem abhängig von der Krümmung und dem Querschnitt der Kohlenfaser. Dies geht sehr deutlich aus 2 Beobachtungsreihen hervor, von denen die eine die mittlere Helligkeit bei 40°, die andere bei 65° ergab. Es fand nämlich Morton[4]) bei einer 16-kerzigen Edison-Lampe folgende Werthe:

---

[4]) Schellen, die magnet- und dynamo-elektr. Maschinen. 2. Aufl. p. 482. 1882.

Winkel zwischen der Beobachtungsrichtung und der Ebene der Kohlenfaser °	beobachtete Lichtstärke N. K.	
0	6,7	
10	6,9	
20	8,4	
30	12,8	
40	14,3	Lage der mittleren Helligkeit bei 40°
50	16,3	
60	17,7	
70	19,1	
80	19,8	
90	20,6	

während die Versuche John B. Howell's[5]) für dieselben Grössen ergaben:

0	14,2	
10	16	
20	16,9	
30	17,2	
40	17,4	Lage der mittleren Helligkeit bei 65°
50	17,4	
60	16,8	
70	15,5	
80	13,6	
90	12,9	

Genau in der Ebene des Kohlenbügels würde der eine Zweig des Kohlenbügels vom anderen verdeckt werden, vorausgesetzt, dass derselbe absolut eben wäre; bei der geringen Dicke des Kohlenfadens wird hingegen schon bei kleinen Drehungen der Lampe diese Bedeckung nicht mehr statthaben, und in dem Falle, dass der Querschnitt des Kohlenbügels kreisförmig ist, wird die Helligkeit dann fast dieselbe sein, wie in der von der Münchener Commission als „Nullstellung“ bezeichneten (bei welcher die Ebene des Kohlenbügels senkrecht zum Photometermaassstab steht), eben weil ja dann nur der obere Bogen des Kohlenbügels verkürzt erscheint. Hat der Querschnitt des Kohlenfadens eine andere Form als die kreisförmige, so wird die grösste Helligkeit in derjenigen Richtung ausgestrahlt werden, in welcher die kleinste Dimension des Querschnittes liegt und umgekehrt.

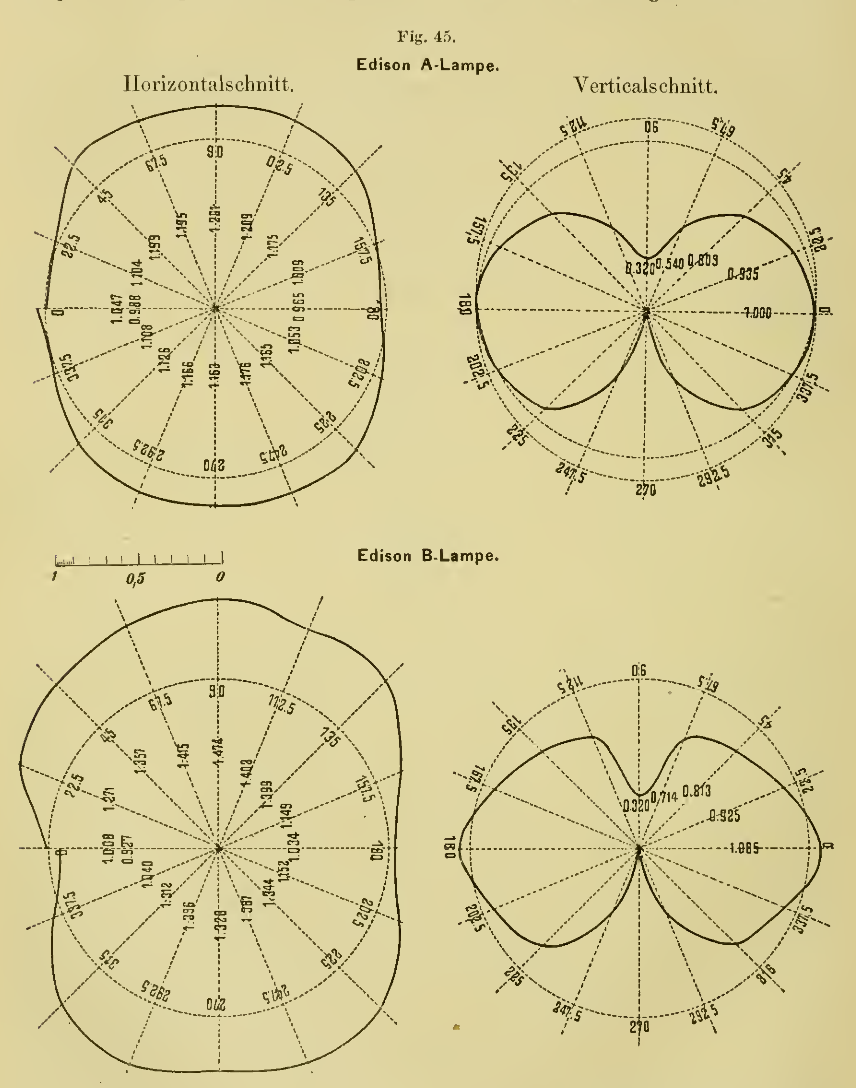
---

[5]) Van Nostrand's Engeneering Mag. (New York) 1882 p. 57.

§ 49. Lichtvertheilung nach verschiedenen Richtungen hin.

Von der durch die willkürlich gewählte 45°-Stellung der Glühlampen bedingten Ungenauigkeit der Pariser Messungsresultate sind

Fig. 45.

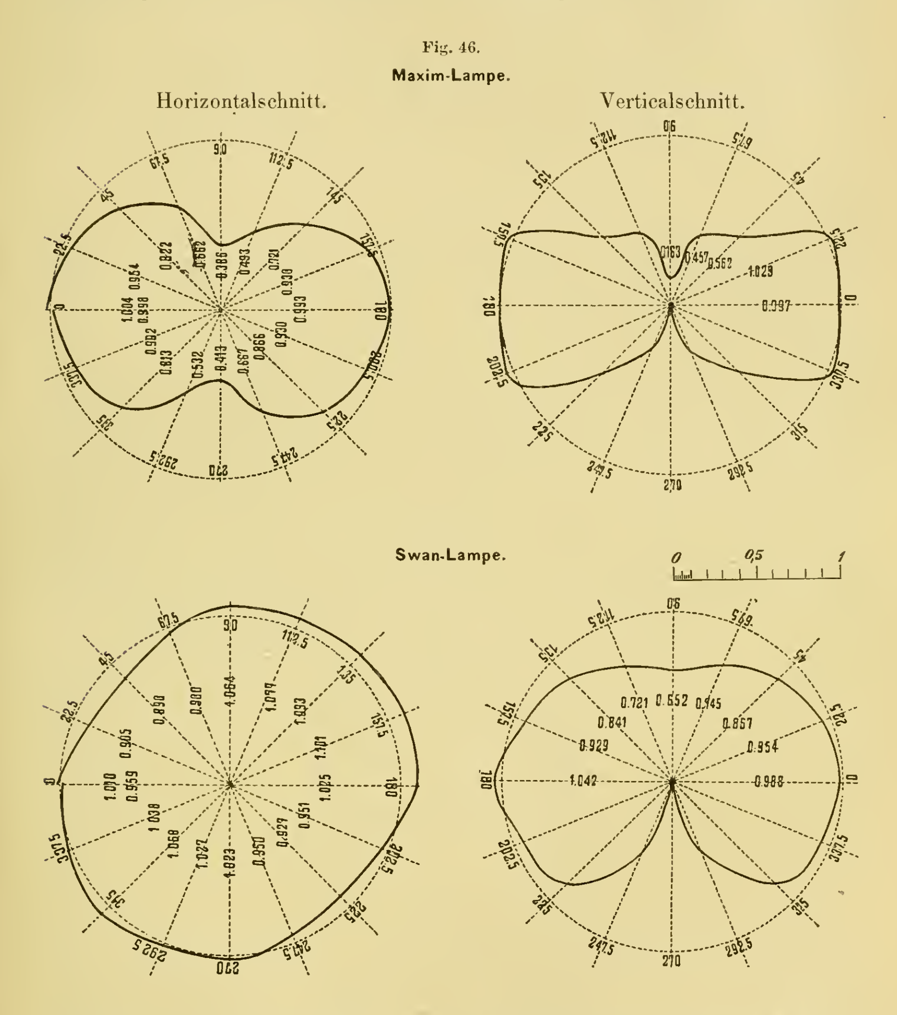


die der Münchener Commission frei. Die Messungen zerfielen hier in 2 getrennte Reihen der Beobachtung, nämlich 1.) in absolute

Messungen, welche den Zusammenhang zwischen der ausgestrahlten Lichtmenge und der dazu aufgewendeten mechanischen und elektrischen Arbeit liefern sollten, und 2.) in relative Messungen zur Ermittelung der nach verschiedenen Richtungen von den Glühlampen

Fig. 46.

Maxim-Lampe.



ausgestrahlten Lichtstärken. Die Gesammt-Ergebnisse dieser Messungen sind in der Tabelle auf Seite 127 bereits mitgetheilt. Die Resultate der relativen Messungen ferner sind sehr klar und deutlich aus graphischen dem Münchener Ausstellungs-Bericht beigelegten

Darstellungen ersichtlich, von denen einige, die uns hauptsächlich interessirenden Lampen betreffend, in den vorstehenden Figuren 45 und 46 abgedruckt sind. Sie liefern uns eine Anschauung über die Lichtausstrahlung der Lampen in horizontaler und in verticaler Ebene. Bei den Verticalebenen sind die Lichtintensitäten bis 45° nach unten in gleicher Weise wie nach oben aufgetragen, da nach diametral entgegengesetzten Richtungen die Projection des leuchtenden Theiles des Kohlenfadens gleich ist. Von dem Winkel 67°,5 unter der Horizontalen anfangend nimmt die Ausstrahlung rasch ab, weil hier das Licht von dem Fuss der Lampe vollkommen abgeblendet wird. Die in den beistehend mitgetheilten Figuren ausgezogenen dicken Linien stellen die Lichtintensitäten dar, welche unter verschiedenen Richtungen von den betreffenden Lampen ausgestrahlt werden. Die Richtungen, in welchen die Beobachtungen selbst ausgeführt wurden, zeigen die punktirten Linien an. Die an dieselben eingetragenen Zahlen geben die Verhältnisse der Lichtintensitäten in diesen Richtungen an. Die Ablesung 0° bedeutet die Senkrechtstellung der Ebene des Kohlenbügels gegen den Photometermaassstab, wenn die Lampe um eine verticale Axe bei den Versuchen gedreht wurde (Nullstellung); während für den Fall der Drehung der Lampe um eine horizontale Axe (zur Ermittelung der Lichtstrahlung im Verticalschnitt) die Ablesung 90° bedeutet, dass der Obertheil der Lampe nach dem Photometerschirm hinschaute (Kopfstellung). Als Einheit für die relativen Messungen wurde die von der Lampe in der Nullstellung ausgestrahlte Lichtintensität gewählt und danach die beistehenden Curven erhalten. Diese Curven geben uns ein sehr deutliches Bild der gesammten Lichtvertheilung um die glühende Kohlenfaser herum; besonders auffällig ist der grosse Unterschied der Strahlung der Edison'schen und der Maxim'schen Lampen nach verschiedenen Richtungen in der Horizontalebene, während die Swan-Lampe eine nahezu gleichmässige Lichtvertheilung in horizontaler Richtung, dem runden Querschnitt ihres Kohlenfadens entsprechend, erkennen lässt. Die Edison'sche Lampe strahlt in der Richtung senkrecht zur Ebene ihrer Kohlenfaser weniger Licht als in der dazu senkrechten Richtung aus, entsprechend der grösseren Breite des rechteckigen Querschnittes der Faser in der letzteren Richtung (siehe p. 85), während bei der Maxim'schen Lampe gerade das Umgekehrte und zwar in

erheblich höherem Maasse der Fall ist. Die Querschnittsdimensionen der letzteren Lampe (0,25 mm breit in der Richtung der Ebene des Kohlenbügels, 0,14 mm in der Richtung senkrecht darauf) bedingen hier die bei weitem ungünstigere Lichtvertheilung. Diesem letzteren Uebelstande ist bei den neuen von Weston construirten Maxim'schen Lampen, die jedoch noch nicht im Handel sind, dadurch abgeholfen, dass die Papierfaser in Gestalt einer Sinuscurve ausgestanzt und dann hufeisenförmig zusammengebogen ist.

§ 50. Räumliche Lichtstärke der Glühlampen.

Mit Hülfe der in der angegebenen Weise für die verschiedenen Stellungen der Ebene der photometrisch untersuchten Kohlenfaser gegen den Photometermaassstab erhaltenen Messungsresultate wurde ein Reductions-Coëfficient für jede der untersuchten Lampen berechnet, welcher mit der bei der Normal- d. h. der Nullstellung der Lampe gewonnenen Lichtstärke multiplicirt die mittlere „räumliche Lichtintensität“ ergiebt. Diese so erhaltene Grösse stellt den Mittelwerth der gesammten von der betreffenden Lampe ausgestrahlten Lichtmenge dar und gestattet daher die Lichtstärken der verschiedenen Lampen direct mit einander zu vergleichen. Ich gebe hier die bei den Münchener Versuchen für die verschiedenen dort untersuchten Lampen gefundenen Reductions-Coëfficienten.

Edison A Lampe	0,971
„ B Lampe	1,054
Maxim Lampe No. I	0,598
„ „ „ II	0,577
Swan Lampe „ I	0,828
„ „ „ V	0,844
Müller Lampe „ I	0,828
grosse „	0,854
Cruto Lampe	0,769
Siemens Lampe	0,971

Durch Multiplication eben dieser Factoren mit den für die Senkrechtstellung der Ebene des Kohlenbügels gegen die Richtung des Photometermaassstabes gewonnenen Lichtstärken der einzelnen Lampen sind die in der 2ten Spalte der auf Seite 127 mitgetheilten „mittleren räumlichen Lichtstärken“ erhalten. Man bemerkt, dass der Reductionsfactor der Maxim'schen Lampe ein ungemein kleiner

im Vergleich zu den übrigen ist, die Lampe entspricht daher den hinsichtlich der Lichtvertheilung theoretisch zu stellenden Anforderungen nicht.

Im Anschluss an die beiden, von uns auf Seite 127 mitgetheilten Beobachtungsreihen bemerkt Voit, dass die in beiden Reihen gemeinsam vorkommenden Lampen nicht unter ganz gleichen Verhältnissen untersucht seien, so dass, abgesehen von der wahrscheinlich[1]) nicht vollkommen übereinstimmenden Lichteinheit, auch in den relativen Werthen der Lichtstärken pro Pferdekraft eine genaue Uebereinstimmung nicht zu erkennen ist. Dieses ist nach den vorausgeschickten Betrachtungen nicht auffällig, weil sich rasch Unterschiede ergeben müssen, sobald eine Lampe stärker angestrengt wird, als die andere. Die Edison B-Lampe liefert z. B. auf Grund der Münchener Versuchsresultate pro Pferdekraft eine grössere Lichtstärke als die A-Lampe, ein Resultat, welches den Pariser Untersuchungen widerspricht; es rührt dies jedoch allein davon her, dass die B-Lampe bei dem Münchener, in Rechnung gezogenen Versuch weit stärker angestrengt war, als die A-Lampe. Man hätte, sagt Voit, auch für diese solche Beobachtungen auswählen können, dass die Lichtstärke pro Pferdekraft sich weit günstiger gestellt hätte. (!)

Dieses eben erwähnte weite Auseinandergehen der in den Tabellen auf Seite 127 zusammengestellten Endergebnisse der Pariser und der Münchener Jury zeigt so recht, wie begründet das ist, was wir vorher (siehe Seite 126) behufs des Vergleiches verschiedener Glühlampen als nothwendig zu erfüllende Vorbedingungen hingestellt hatten. Wenn demnach die von jenen Commissionen gewonnenen Resultate unmöglich dazu ausreichen, um ein definitives Endurtheil über den Werth der verschiedenen Lampensysteme sich zu bilden, so können sie doch immerhin als vollkommen hinreichend zu einer Orientirung im Allgemeinen, wie das Prof. Voit hervorhebt, angesehen werden, um so mehr, als dabei nicht ausser Acht gelassen werden darf, dass diese Versuchsergebnisse, eben weil sie die einzigen bisher von wissenschaftlichen Prüfungs-Commissionen gewonnenen und bis jetzt veröffentlichten sind, ohne Zweifel einen höheren Werth hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit haben,

[1]) Münchener off. Ausstell.-Ber. Theil II p. 126.

als die von den einzelnen Fabrikanten angegebenen, welche trotz allen redlichen Wollens und Strebens ihren Erzeugnissen nie so unparteiisch gegenüberstehen können, als das hier der Fall war.

§ 51. Schlussfolgerungen.

Die Schlussfolgerungen der Münchener Versuchsergebnisse fasst Voit in folgenden Sätzen zusammen:

1. Die von einer Glühlampe in horizontaler Ebene unter verschiedenen Richtungen ausgesendeten Lichtintensitäten sind von der Querschnittsform des Kohlenbügels abhängig; ein kreisförmiger Querschnitt desselben bedingt eine nach allen Richtungen in der Horizontalebene gleiche Lichtstärke.
2. Die Vertheilung des nach verschiedenen Richtungen von einer Glühlampe ausgesendeten Lichtes ist von der Projection des Kohlenbügels nach dieser Richtung abhängig.
3. Bei einer und derselben Glühlampe wächst die Lichtstärke, innerhalb der bei den Beobachtungen eingehaltenen Grenzen, proportional mit der dritten Potenz der von der Lampe verbrauchten elektrischen Arbeit.
4. Die mittleren räumlichen Lichtstärken, welche durch die elektrische Arbeitseinheit erzeugt werden, besitzen den Beobachtungen zufolge im Mittel folgende Werthe:

Edison A-Lampe	0,0000376
(„ B- „	0,0001106)
kleine Swan „	0,0000848
grosse „ „	0,0000096
Maxim „	0,0000148
Siemens „	0,0000225
kleine Müller „	0,0000213
mittlere „ „	0,0000067
grosse „ „	0,0000021
Cruto „	0,0000250

Capitel IV.

Kosten der Edison'schen elektrischen Glühlicht-Beleuchtung.

---

§ 52. Vorbemerkungen bezüglich der Preisvergleiche zwischen Gas- und elektrischem Glühlicht.

Bei der kurzen Zeitdauer, die seit der Einführung der elektrischen Glühlichtbeleuchtung verstrichen ist, kann es uns nicht befremden, dass sich genaue und zuverlässige Zusammenstellungen über die Kosten bis jetzt eigentlich an keiner Stelle veröffentlicht vorfinden. Alles, was bis jetzt darüber und besonders über die Verhältnisse, in welchen die Kosten der verschiedenen Beleuchtungsarten zu einander stehen, mitgetheilt ist, entbehrt im Grunde jeder Zuverlässigkeit und jeden Vertrauens. Die Angaben, welche für eine Glühlichtanlage bestehen und gültig sind, gelten nicht direct für eine andere; der Grund dafür liegt darin, dass die Kosten der erforderlichen Betriebskraft immer sehr klein im Verhältniss zu der Summe der Zinsen sind, welche das Anlagecapital repräsentirt, und der Kosten, welche dadurch erwachsen, dass die Glühlampen eine immerhin nur kleine Lebensdauer besitzen und der grossen Schwierigkeit ihrer Herstellung entsprechend selbst einen relativ hohen Werth haben. Aus eben diesem Grunde ist auch der Vortheil, der darin liegt, dass die verschiedenen Lampenarten eine verschiedene Anzahl Normalkerzen pro Pferdekraft liefern, und dass sonach das eine Glühlichtsystem dem anderen in Beziehung auf Ausnutzung der Kraft resp. Umwandlung der Kraft in Licht überlegen ist, ein nur scheinbarer, da die hieraus entspringende Ersparniss gegen die Gesammtkosten eine verhältnissmässig unerhebliche Rolle spielt.

Je grösser die Zeitdauer ist, während welcher elektrisches Licht gebraucht wird, um so mehr tritt dann die Summe der zur Erzeugung der Elektricität erforderlichen Kosten im Vergleich zu den

übrigen in den Vordergrund, und um so billiger stellen sich die Gesammtkosten der Beleuchtung.

Wir müssen nothwendiger Weise zwischen den Kosten der Glühlichtbeleuchtung bei Einzel- und bei Districts-Anlagen unterscheiden; bei letzteren erhöhen die ungemein kostspieligen, dicken Kupferleitungen sehr beträchtlich den Betrag des Anlagecapitals, während auf der anderen Seite hier die Kosten der Erzeugung des elektrischen Stromes in demselben Verhältniss sinken, wie wir das ja auch bei jedem anderen Fabrikationszweige bei wachsender Grösse der Anlage sehen. — Das, worauf es hauptsächlich ankommt, ist offenbar der Vergleich der Kosten der elektrischen und der Gasbeleuchtung, und so gehen denn auch alle bisher über diese Kosten veröffentlichten Angaben ausschliesslich auf diesen Punct hinaus. Aber leider sind die gerade diese Preisvergleichung betreffenden Angaben eher dazu geeignet, die Lage der Sache zu verdunkeln, als sie zu klären. Einzelne derartige Veröffentlichungen — und ich gehe hier ausschliesslich auf die die Edison-Beleuchtung betreffenden ein — erscheinen geradezu lächerlich, wenn uns in ihnen an der Hand von Zahlen[1]) bewiesen wird, dass die Glühlichtbeleuchtung nur etwa halb so viel kosten könne, wie die Bogenlichtbeleuchtung, und noch nicht $^1/_3$ von den durch Leuchtgasbeleuchtung verursachten Kosten, und man kann hier nur sagen, dass der betreffende Autor — guten Willen vorausgesetzt — in seinem Eifer und in seiner Begeisterung für das Edison-Licht sich zu weit hat hinreissen lassen und Vergleiche gezogen hat, bei denen er unmöglich die Kosten von einander in ihrem Lichteffect äquivalenten Beleuchtungen in Rechnung eingeführt haben kann. Stellt man sinnlose Vergleiche an, so kann auch das Resultat nur ein sinnloses sein, und es ist zu bedauern, dass dies so oft geschehen und immer und immer wieder geschieht. Derartige Veröffentlichungen, wie die so eben erwähnte, können nur den Erfolg haben, der Sache zu schaden statt ihr zu nützen. Aber wenn auch so augenfällige, unrichtige Darstellungen der Preisverhältnisse der verschiedenen Beleuchtungsarten nur vereinzelt sich vorfinden, so leiden doch auch die übrigen, um mich so auszudrücken, bescheideneren, an demselben Fehler wie jene: an der Zusammenstellung der Kosten von Beleuch-

[1]) Sidney B. Paine, Edison Bulletin No. 18 p. 25 resp. 345.

tungen, die in ihrem Lichtwerth nicht äquivalent sind. An den meisten Stellen amerikanischer Veröffentlichungen, wo wir Vergleiche der Kosten des Edison- und des Gaslichtes mit einander vorfinden, sehen wir immer den Preis von 16-kerzigen Edisonlampen mit 8-kerzigen Gaslampen zusammengestellt. Hierin liegt von vorn herein ein Fehler; jeder Gastechniker weiss, dass man nur innerhalb kleiner Intervalle Proportionalität zwischen Gasverbrauch und erzeugtem Licht annehmen darf, dass aber bei geringem Consum der Lichteffect verhältnissmässig viel unvortheilhafter ist, als bei grossem. Die Zahlen würden sich ganz anders gestellt haben, wenn man 16-kerzige Edisonlampen mit 16-kerzigen Gasflammen hinsichtlich ihres Preises zusammengestellt hätte. Zwei Gasflammen von je 8 Normal-Kerzen Lichtstärke sind eben viel unökonomischer als eine einzelne 16-kerzige Gasflamme. Dies ist der erste Fehler, den wir fast immer wiederkehrend finden. Die nachfolgende Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Kosten der Gasbeleuchtung bei Anwendung verschieden lichtstarker Gasflammen, unter Zugrundelegung des gegenwärtig in Berlin gültigen Gaspreises von 16 Pf. pro 1 cbm[2]).

Lampensorte	Lichtstärke in N.-K.	Gasverbrauch pro Stunde	Preis pro Lampe und Brennstunde	Preis pro 1 Normalkerze und Brennstunde
grosser Strassenbrenner	18[3])	195 l. (= 6,887 cub.′ engl.	3,12 Pf.	0,130 Pf.
Argandbrenner . . .	17,3	150 l.	2,40 „	0,139 „
Schnittbrenner . . .	16	141,6 l. (= 5 cub.′ engl.)	2,26 „	0,141 „
„ (neue Form, runde Gestalt der Flamme)	8,3	113,3 l. (= 4 „ „	1,81 „	0,218 „

Die in der letzten Reihe dieser Tabelle angegebene Zahl von

[2]) Der hier in Anrechnung gebrachte Preis von 16 Pf. pro 1 cbm ist der für alle Privat-Abnehmer gültige, während für die öffentlichen Flammen $13\frac{1}{3}$ Pf. pro 1 cbm aus der Stadthauptkasse an die Gasanstalt gezahlt werden. Von den Kosten der Bedienung etc. entfallen auf jedes Cubikmeter verbrauchtes Gas 2,01 Pf., so dass der Preis, welcher von der Stadt Berlin den Gasanstalten für das zur öffentlichen Beleuchtung gelieferte Gas gezahlt wird, nur 11,32 Pf. im Jahre 1882/83 betrug.

[3]) Vergl. Verwaltungs-Bericht des Magistrats zu Berlin für die Zeit 1882 bis 1883 No. XXVIII, Bericht über die Verwaltung der städt. Gas-Anstalten p. 8, Etatstitel V Al. 5.

8,3 Normalkerzen bei 113,3 L. (4 engl. cub.') stündlichem Verbrauch an Gas kann als Maximaleffect bei wirklicher Benutzung für den angegebenen Consum an Gas angesehen werden. Allerdings ist es möglich, unter Umständen eine etwas grössere Lichtstärke (9 N.-K.)[4]) damit zu erhalten, indess brennen alsdann die Flammen so unruhig, dass sie für gewöhnliche Zwecke, speciell zur Innenbeleuchtung von Häusern und als Arbeitslampen nicht mehr gut anwendbar sind. Aus den oben mitgetheilten Zahlen geht hervor, dass — um gleiche Lichtintensitäten zu erhalten — die Anwendung von 8-kerzigen Flammen etwa $1^1/_2$ mal so viel an Kosten verursachen würde, als bei 16-kerzigen Flammen der Fall wäre.

Der Einwurf, der hier gemacht werden könnte, dass man ja für die elektrische Glühlichtbeleuchtung die gleiche Kraft aufzuwenden habe, um eine 16-kerzige oder um zwei 8-kerzige Glühlampen zu treiben, und dass man demnach jedenfalls den Vergleich auch so anstellen könne, dass man die Kosten der Beleuchtung bei Anwendung von 8-kerzigen Glühlampen einerseits und 8-kerzigen gewöhnlich in den Fabriken verwendeten Gasflammen andererseits zusammenhält, sowie der daraus zu ziehende Schluss, dass nun die Gasbeleuchtung sich theuerer stellen müsse als im vorher erwähnten Falle, würde nicht zutreffend sein. Doppelt so viele Glühlampen würden eben auch die doppelten Kosten für deren Ersetzung erfordern und dadurch wieder die Kosten des Betriebes ganz unverhältnissmässig erhöhen.

Wir wollen hierauf bei Gelegenheit der Kostenzusammenstellung einer Edison'schen Glühlicht-Anlage von 750 16-kerzigen Lampen noch zurückkommen (vergl. p. 141).

§ 53. Anlagekosten Edison'scher Einzelanlagen für Fabriken etc.

Zur Orientirung im Allgemeinen können die folgenden von der „Edison Co for isolated lighting in New York" festgesetzten Angaben dienen. Die Preise der Dynamomaschinen einschliesslich der betreffenden Zahl von Lampen und zugehörigen Fassungen sowie eines Widerstandsregulators (Fig. 21 p. 72) zum Einschalten in die

---

[4]) Ich verdanke diese Mittheilungen Hrn. A. Fischer, Director der städtischen Gas-Anstalten in Berlin.

Umwindungsdräthe der Erregungselektromagnete der Dynamomaschinen, sind die folgenden:

Dynamomaschine für	25	Lampen	1800 M.
„ „	50	„	3000 „
„ „	100	„	5400 „
„ „	200	„	9600 „
„ „	300	„	13800 „
„ „	400	„	18000 „

Der Preis der sonstigen zur Glühlichtbeleuchtung erforderlichen Theile, Wand-, Hängearme, etc. etc., ist je nach der Ausführung verschieden; für den gewöhnlichen Gebrauch in Fabriken indess wird man etwa 3 Mark pro Lampe und für die Leitung bei weniger als 300 Lampen etwa 20 Mark, bei einer grösseren Zahl hingegen 19 Mark pro Lampe rechnen müssen (ausschliesslich der Kosten für Reise und Wohnung der Arbeiter und Monteure). Bei obigen Preisen ist vorausgesetzt, dass die Dynamomaschinen von der Hauptwelle der Maschine der Fabrik mit getrieben werden; da, wo eine gesonderte Dampfmaschine zu ihrem Betriebe aufgestellt wird, was stets — wie schon früher erwähnt — Vorzug verdient, stellen sich die Kosten der elektrischen Anlage natürlich höher, beispielsweise in einem Falle

für eine Anlage von . . 250 Lampen (à 16 N.-K.) zu 20000 M.,
in einem anderen Falle bei 500 „ „ „ 48000 „

Diese Preise schliessen aber, wie nochmals hervorgehoben werden möge, alle Ausgaben in sich ein, d. h. Dynamomaschine, Dampfmaschine, Lampen, Leitungen etc. etc.; indess ist dabei alles in der einfachsten, billigsten Weise eingerichtet, so, wie es für die Arbeiten in der betreffenden Fabrik gerade ausreichend ist.

§ 54. Kosten-Angaben des Edison-Lichtes bei Einzel-Anlagen.

Als Beispiel für die Kosten des gesammten Betriebes mögen folgende der Edison Co zugegangenen Certificate dienen.

I. Mr. Kilburn, Agent der Wamsutta-Fabrik in New Bedford, (Mass.), giebt bezüglich der Kosten der Beleuchtung seiner Fabrik vermittels 750 Edison'scher 16-kerziger Lampen an[1]), dass die

[1]) Edison Bulletin No. 15 p. 32 resp. 230.

ganze Anlage einschliesslich dreier 250-Licht-Dynamo's, die von der Hauptwelle der Fabrikmaschine aus betrieben werden, etwa 48000 Mark gekostet habe. Im Ganzen befinden sich 1072 Webstühle (je 40" breit) mit 51000 Spindeln in der Fabrik. Je eine 16-kerzige Edisonlampe giebt das erforderliche Licht für 4 Webstühle, während früher je ein 8-kerziger Gasbrenner für 2 Webstühle angebracht war. Zahl der Brennstunden pro Jahr 300.

Kosten des Betriebes der Beleuchtungsanlage mit Edison-Lampen.

87 Pferdekraft für 300 Stunden (à 4 Pf. pro 1 Stde u. Pferdekraft)	1044	M.
375 Lampen zu ersetzen à 4 M.	1500	„
Bedienung der Dynamos	360	„
8% für Verzinsung des Anlage-Capitals und für Abnutzung . .	3840	„
Gesammtkosten pro Jahr (300 Brennstunden)	6744	M.

Hingegen würden die Kosten von 1200 sog. 4 Cub.' Gasbrennern betragen:

1440000 Cub.' Gas (1000 Cub.' = 28,31 cbm à 4 M.)	5760	M.
8% für Verzinsung, Abnutzung der Anlage, Rohrleitung etc. : .	1280	„
Summa	7040	M.

so dass in diesem Falle eine Ersparniss von 296 M. gegenüber dem Gas (bei Annahme von 1000 Cub.' à 4 M.) das Ergebniss sein würde.

Würde man die analoge Berechnung durchführen unter der Annahme der doppelten Anzahl 8-kerziger Edison-Lampen, so würden zu dem oben angegebenen Anlagecapital von 48000 M. noch hinzukommen 1) die Kosten für 750 Edison-B-Lampen . . 3000 M.
2) „ „ „ Hängearme, Leitung etc. zu denselben.
Nehmen wir hierfür den jedenfalls zu niedrig gewählten Preis von 6 M. pro hinzukommende Lampe an, so würde nun das Anlagecapital sich auf etwa 54160 M. beziffern und die Berechnung sich folgendermaassen stellen:

87 Pferdekräfte für 300 Stunden (à 4 Pf. pro Stde. und Pferdekr.)	1044	M.
für 750 zu ersetzende Lampen	3000	„
Bedienung der Dynamos	360	„
8% für Verzinsung und Abnutzung	4332,80	„
Gesammtkosten für 300 Brennstdn. von 1500 8-kerz. Edison-Lampen	8736,80	M.

während die in ihrem Lichteffect gleichwerthige, allerdings nicht eine gleich weit gehende Lichtvertheilung ergebende Beleuchtung vermittels der halben Anzahl 16-kerziger Edison-Lampen nur 6744 M. Kosten verursachte. Es bedarf keiner weiteren Erwähnung, wie unrichtig daher die Kostenvergleichung in der von Mr. Kilburn angegebenen Weise sich stellt.

II. Ueber eine andere Edison-Anlage, bei der die Dynamomaschinen mittels der vorhandenen Wasserkraft getrieben werden, berichtet der Besitzer der Pemberton-Fabrik in Lawrence[2]), Mass. Die Zahl der Lampen (16 N.-K.) ist 365, sie werden durch eine 65- und zwei 150-Lichtmaschinen gespeist, je eine Edison-Lampe dient zur Beleuchtung zweier Webstühle.

Gesammtkosten der elektrischen Anlage = 27302,40 M.

Von den sämmtlichen installirten Lampen waren während des Januars (1883) 135 Lampen den ganzen Tag über (10 Stunden lang), und 230 Lampen pro Tag 2 Stunden in Betrieb, was in Summa 181 Lampen bei 10stündiger Brenndauer pro Tag entsprechen würde. Hiernach stellt sich die Kostenberechnung wie folgt:

12 % von 27302,40 M. für Amortisation und Abnutzung pro Tag	10,92 M.
28 Pferdekraft für 181 Lampen (3,2 Pf. pro Pf.-Kr. und Stunde, 6,5 Lampen pro 1 Pf.-Kr.)	8,96 „
für 4 pro Tag zu ersetzende Lampen	16 „
Bedienung, Oel etc.	5 „
Gesammtkosten von 181 Lampen (à 16 N.-K.) für 10 Stunden tägl.	40,88 M.

Auch hier werden wieder zum Vergleich der Kosten der elektrischen und der Gasbeleuchtung die doppelte Anzahl Gasbrenner von 8 N.-K. und stündlichem Verbrauch von 4 Cub.' = 103,3 Liter Gas herangezogen, wonach die Kosten der Gasbeleuchtung sich auf 95,68 M. stellen würden.

III. Bei einer dritten, in den Fairmount Worsted Fabriken in Philadelphia ausgeführten Edison-Anlage[3]) mit 500 16-Kerzen-Lampen, betrugen die Gesammtkosten (incl. besonderer Dampfmaschine und sämmtlichem Zubehör) 48025,60 M.

Ein viermonatlicher Betrieb erforderte bei circa 13 Stunden langem Gebrauch pro Tag folgende Kosten:

[2]) Edison Bulletin No. 17 p. 17 resp. 301.

[3]) Edison Bulletin No. 18 p. 15 resp. 335.

4 Monat Zinsen 6% von 48025,60	960,52 M.
$91\frac{1}{2}$ Tonnen Kohle à 13 M.	1189,52 „
Oel	373,72 „
zu ersetzende Lampen	1772 „
Reparatur der Dynamomaschine (neue Armatur)	188,20 „
für Abnutzung der Maschinen (3% im Jahr) für 4 Monate . .	480,24 „
	4964,20 M.

während, wie von den Besitzern jener Fabrik (Mr. Fiss, Banes, Erben & Co.) behauptet wird, die Beleuchtung mit Leuchtgas (zu dem Preise von 7,60 M. pro 1000 Cub.′ = 28,31 cbm) fast das Fünffache würde gekostet haben.

§ 55. Einfluss der Zahl der Brennstunden auf die Gesammtkosten.

Rechnet man die in diesen 3 Zusammenstellungen der Beleuchtungskosten gegebenen Zahlenwerthe so um, dass man aus ihnen die Kosten für die Brennstunde einer Lampe und ferner ermittelt, welcher Theil in Procenten der ganzen Kosten auf die einzelnen Posten entfällt, so ergeben sich interessante Resultate, die aus der nachfolgenden Tabelle hervorgehen.

	I.	II.	III.
Anzahl der Lampen . . .	750	181·	500
Brennstunden pro Tag . .	1	10	13
Betriebskraft	von der Hauptwelle der Fabrikmaschine geliefert	Wasserkraft	besondere Dampfmaschine
Kosten pro 16-kerzige Lampe und Brennstunde . . .	3 Pf.	2,24 Pf.	?

Zusammenstellung der einzelnen Posten in % der Gesammtsumme:

	I.	II.	III.
zu ersetzende Lampen . .	22,24%	39,14%	35,70%
Amortisation u. Abnutzung	56,94 „	26,71 „	29,02 „
Kraft	15,48 „	21,92 „	23,96 „
Bedienung	5,34 „	12,23 „	0 „
		Oel	7,53 „
		neue Armatur	3,79 „
	100%	100%	100%

In dieser Tabelle ist für die Amortisation und Abnutzung im ersten Falle 8%, im zweiten 12% gerechnet; umsomehr tritt das Resultat hervor, dass die Kosten des Lichtes wesentlich durch die grössere Zahl der Brennstunden heruntergedrückt werden; bei 1 Stunde pro Tag im Beispiel I ergab sich 3 Pf.,

bei 10stündigem Lichtbedarf täglich nur 2,24 Pf. pro Lampe und Brennstunde. Ausserdem verdient noch berücksichtigt zu werden, dass in Fall I 8,5, im Falle II nur 6,5 Lampen pro Pferdekraft in Anrechnung gebracht sind. Ferner geht aus der Tabelle hervor, dass bei einigermaassen starkem Gebrauch die Hauptkosten stets durch die zu ersetzenden Lampen ausgemacht werden und, dass die Kraft bei etwa 10stündiger Brenndauer der Lampen ungefähr $^1/_3$, bei 1stündiger Brenndauer pro Tag gar nur $^1/_5$ von dem kostet, was wir für die zu ersetzenden Lampen, Amortisation und Abnutzung zu zahlen haben. Je länger der Lichtgebrauch, um so geringer ist der Durchschnittspreis, weil die Betriebskosten — wenn die Zinsen des Anlagecapitals eine gewisse feste Summe ausmachen — einen nur kleinen Bruchtheil des Ganzen ausmachen.

Die New Yorker Edison Companie hat auf Grund ausgeführter Versuche eine Zusammenstellung[1]) gegeben, welche gleichfalls dieses Resultat zeigt. Es betrifft dieselbe die Kosten einer Anlage von 400 Edison-Lampen, welche durch 65 von der Hauptwelle der Fabrikmaschine abgenommene Pferdekräfte betrieben werden. Jede der Lampen soll, wie angenommen ist, eine sphärische Lichtstärke von 18 N.-K. haben, entsprechend einem Brenner von $7^1/_2$ Cub.' = 212,3 l. Leuchtgas-Verbrauch pro Stunde. Die Kosten würden sich stellen für:

Brennstunden pro Jahr:	300	600	900
Verzinsung des Anlagecapitals 24400 M. zu 6%	1464 M.	1464 M.	1464 M.
Abnutzung auf 2800 M.	(10% =) 280 „	(14,3% =) 400 „	(18% =) 500 „
„ „ 21600 „ zu 3%	648 „	648 „	648 „
Kohlen 6 Pf. pro Stde. und Pf-Kr. (6,1 Lampen pro Pf.-Kr.)	976 „	1952 „	2928 „
Ersatz von Lampen . . .	800 „	1600 „	2400 „
Oel, Verlust	80 „	120 „	160 „
Versicherung 0,65% . . .	76 „	76 „	76 „
Gesammtkosten für 400 Lampen pro Jahr	4324 M.	6260 M.	8176 M.
Daraus würde sich pro Lampe und Brennstunde ergeben	3,60 Pf.	2,60 Pf.	2,28 Pf.

[1]) The Edison System of Incandescent Electric Lighting etc. by the Edison Co for isolated lighting in New York. 1883 p. 15.

und die einzelnen Posten in Procenten der Gesammtsumme ausgedrückt würden sich folgendermaassen stellen:

für Ersatz von Lampen . . .	18,50 %	25,56 %	29,35 %
„ Zinsen und Abnutzung . .	55,33 „	40,13 „	31,96 „
„ Kraft	22,57 „	31,18 „	35,81 „
„ Bedienung	1,85 „	1,92 „	1,96 „
„ Versicherung	1,76 „	1,21 „	0,93 „

§ 56. Einfluss der Lebensdauer der Lampen auf die Gesammtkosten.

Wie sehr die Gesammtkosten der Glühlichtbeleuchtung durch die Lebensdauer der Lampen beeinflusst werden, zeigt sich besonders an einem Beispiel, das Mr. C. J. H. Woodbury angiebt[1]). Die betreffende Fabrik (Merrick Zwirn Co. in Holyoke) ist Tag und Nacht hindurch 5 Mal in 51 Wochen des Jahres im Gange und braucht jährlich in 2869 Stunden künstliche Beleuchtung. Sie war früher durch 95 (4 Cub.′ = 123,3 l) Gasbrenner à 8 N.-K. erleuchtet, was bei dem Gaspreise 1000 Cub.′ (28,314 cbm) = 8,52 M. pro Monat 900 M. ausmachte. Von den 95 an Stelle der Gasbrenner eingeführten 8-kerzigen Edison-Lampen waren innerhalb von 1278 Brennstunden nur 11 Lampen durchgebrannt resp. unbrauchbar geworden, so dass demnach, Woodbury's Angaben zufolge, die wirklichen Kosten der Beleuchtung — die Fabrik wird durch Wasserkraft (40 M. pro Pf.-Kr. im Jahr) betrieben — sich pro Jahr folgendermaassen stellen:

2maliger Ersatz von 95 Edison-B-Lampen .	760	M.
Verzinsung und Abnutzung	614	„
6 Pferdekräfte à 40 M.	240	„
Edison-Beleuchtung pro Jahr	1614	M.
„ „ „ Monat	134,5	„
hingegen Gasbeleuchtung „ „	900	„

Mr. Woodbury bemerkt dazu, dass dieses Ergebniss der Lampen ein sehr zufriedenstellendes sei und jedenfalls dasjenige weit übertrifft, welches man erhalten haben würde bei Ueberanstrengung der Lampen; hingegen scheint wohl eher der Schluss berechtigt zu sein, dass hier die Lampen nicht bis zu der normalen Lichtstärke werden gebracht worden sein, und dass sich dadurch die lange, durch-

[1]) Electric lighting in mills by C. J. H. Woodbury, Lynn 1883, p. 12.

schnittliche Lebensdauer der Lampen von fast 1300 Stunden erklärt. Dass einzelne Lampen eine so lange, ja stellenweise eine Lebensdauer von 3000 Brennstunden erreichen, ist bekannt, aber die Durchschnittszahl wird bei normalem Betriebe auch nicht annähernd so hoch gefunden. Wesentlich anders stellen sich die obigen Zahlen, wenn man die von der Edison Companie garantirte Lebensdauer der Lampen (600 Stunden) und statt der Wasserkraft ausserdem Dampfkraft mit 2 k Kohle Verbrauch pro Stunde und Pferdekraft einführt. In diesem Falle wären die Kosten:

4,78 mal 95 Lampen ersetzt = 454 Lampen à 4 M.	1816 M.
Verzinsung und Abnutzung	614 „
30,74 Tonnen Kohle à 23 M.	707,24 „
Edison-Beleuchtung mit 95 B-Lampen (à 8 N.-K.) jährlich für 2869 Brennstunden	3137,24 M.
Edison-Beleuchtung mit 95 B-Lampen (à 8 N.-K.) monatlich	261,44 „

was einer Gasbeleuchtung zum Preise von 2,60 M. pro 1000 Cub.' (28,314 cbm) entsprechen würde. Unter diesen Annahmen berechnet sich der Kostenpreis einer 8-kerzigen Edison-Lampe pro Brennstunde zu 11,52 Pf., während die oben erwähnte Berechnung nur 5,92 Pf. ergeben würde.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, wie sehr die Kosten von der Lebensdauer der Lampen d. h. also auch von der Temperatur abhängen, welche die Kohlenfasern der Glühlampen beim Betriebe aushalten. Edison giebt darüber einige interessante Daten an: Würde man beispielsweise eine 8-kerzige B-Lampe an die Stelle einer 16-kerzigen A-Lampe in die Leitung einschalten, so würde sie eine Lichtstärke von mehreren Hundert Normalkerzen ergeben, aber nur wenige Secunden diese hohe Erhitzung ertragen. Würde man zweitens umgekehrt eine A-Lampe in eine für die B-Lampe bestimmte Leitung einschalten, wodurch an den Enden ihrer Kohlenfaser nur die Hälfte der für eine A-Lampe erforderlichen, elektrischen Spannung erzeugt werden würde, so würde die Lampe nur ganz schwach glühen, aber unendlich lange halten. Es würde etwa derselbe Strom, welcher erforderlich ist, um eine B-Lampe auf den dritten Theil ihrer normalen Lichtstärke d. h. bis auf ca. 3 Normal-Kerzen zu bringen, in einer A-Lampe nur $^1/_{14}$ Normal-Kerze hervorbringen, was ungefähr nur einer Normal-Kerze pro Pferdekraft ent-

spräche. Im ersteren Falle spart man an Kraft auf Kosten der Lebensdauer der Lampen, im letzteren Falle findet das Umgekehrte statt. Es bedurfte daher einer Reihe von Versuchen, deren Zweck es war, die vortheilhafteste Art des Betriebes zu ermitteln. Die diesbezüglichen Versuche ergaben[2]):

die Lebensdauer der Lampen

= 42 Stunden bei $13^1/_2$ Lampen (à 16 N.-K.) pro 1 Pf.-Kr.
= 2240 „ „ $8^1/_2$ „
= 35000 „ „ $5^1/_3$ „
= ∞ „ 1 „

Rechnet man nun mit Hülfe der so erhaltenen Lebensdauern der Lampen und der zum Betriebe dann nöthigen Kraft die Kosten aus, die erforderlich sind, um 1000 Stunden hindurch einen Raum mit 20 Lampen zu erleuchten, so gelangt man zu Zahlen, die in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellt sind. Den Werth der Betriebskraft 1 Pferdekraft pro 1 Stunde hat dabei Edison — wie das in Amerika für den Fall vorzüglichster Einrichtungen und sehr grosser Fabrik-Anlagen zutrifft — zu 1 Ct. = 4 Pf. angenommen.

	Unter der Annahme von:			
	$13^1/_2$ Lampen pro 1 Pf.-Kr. M.	$8^1/_2$ Lampen pro 1 Pf.-Kr. M.	$5^1/_2$ Lampen pro 1 Pf.-Kr. M.	1 Lampe pro 1 Pf.-Kr. M.
Kosten der Betriebskraft . . .	59,24	94,12	150,04	800
„ „ Lampen	1904,76	35,72	2,28	0
Gesammtkosten des Betriebes	1964,00	129,84	152,32	800

Hieraus lässt sich schliessen: 1) Wenn etwa an einer Stelle mehr Licht als bisher erfordert wird, so ist es billiger, eine grössere Anzahl von Lampen zu verwenden, als etwa die vorhandenen Lampen durch stärkeren Strom zu höherer Lichtstärke zu treiben. 2) Da, wo billige Kraft zur Verfügung steht (z. B. ungenutzte resp. überflüssige Wasserkraft), ist es vortheilhafter, weniger ökonomische Lampen zu verwenden, von welchen also nur eine kleinere Anzahl auf die Pferdekraft kommen, d. h. man würde Lampen, die eigent-

[2]) Edison Bulletin No. 13 p. 31 resp. 171.

lich für eine höhere Kerzenstärke bestimmt waren, zweckmässig zu wählen haben.

Um eine möglichst ökonomische Glühlicht-Beleuchtung zu erzielen, wäre demnach die Wahl stets so zu treffen, dass man eine möglichst lange Lebensdauer der Lampen bei einem Minimum der für Betriebskraft und Anlagecapital erforderlichen Kosten erhält, eine Bedingung, welche bei dem jetzigen Werthe der Dampfkraft bei den Edison'schen Lampen in ihrer gegenwärtigen Form möglichst vollkommen erfüllt ist.

In den im Vorstehenden mitgetheilten Preisvergleichungen der Edison'schen Glüh- und der Leuchtgasbeleuchtung hatten wir als ersten Einwurf, der gemacht werden musste, angeführt, dass Brenner verschiedener Lichtstärke mit einander ihrem Preise nach verglichen waren, und an einigen Beispielen hervorgehoben, wie viel günstiger sich dadurch die Berechnung mit Zugrundelegung 16-kerziger als bei 8-kerzigen Glühlampen gegenüber der Gasbeleuchtung gestaltet. Aber es ist noch ein zweiter Punkt, der die Sachlage in gleicher Weise wieder zu Ungunsten der Gasbeleuchtung verschiebt. Das ist, dass wir hier stets die Selbstkosten der elektrischen Beleuchtung dem Verkaufspreise des Gases gegenüber gestellt sehen. So unrichtig dies auf den ersten Augenblick erscheint, so ist diese Vergleichung dennoch, wie z. B. in den oben angeführten Beispielen, in vielen Fällen berechtigt; für die Besitzer jener Fabriken gestaltet sich eben die Frage ganz anders als für uns. Für sie fragt es sich, ob das elektrische Licht, das sie selbst produciren, billiger ihnen zu stehen kommt als das Gas, das sie kaufen müssen, und je nach den gerade herrschenden Gaspreisen kann sich dann in der That das elektrische Glühlicht für sie erheblich billiger stellen, als das Gaslicht. Indess für den wirklichen Preisvergleich von Gas- und Glühlichtbeleuchtung müssen wir bei beiden die Herstellungs- resp. Selbstkosten vergleichen, und wenn man das thut, so gestaltet sich die Sachlage total anders, als aus den in obigen Beispielen gegebenen Preisvergleichungen hervorzugehen scheint. In wie weit das der Fall ist, geht am klarsten hervor, wenn man sich vergegenwärtigt, dass es möglich ist, 1000 Cub.' Gas in den Gasometern der Anstalt zum Preise von 1,60 M. darzustellen, wie das auch in manchen Gasfabriken geschieht, so dass, wenn man noch 1,20 M. dazu rechnet für die Kosten der Distribution des Gases in den Gasleitungen der Stadt, der

Kostenpreis des Leuchtgases, so wie es an die Abnehmer abgegeben wird, sich auf etwa 2,80 M. pro 1000 Cub.′ (engl.) berechnet. Wollte man daher mit Zugrundelegung derartiger Zahlen — und die Kosten der Distribution wären ja noch beträchtlich zu reduciren, wenn wir annehmen, dass die betreffende Fabrik ihr Leuchtgas selbst producirt — die oben angegebenen Vergleiche zwischen den Kosten der Gas- und der Glühlichtbeleuchtung ausführen, so würde man in der That zu Resultaten gelangen, welche die Ueberlegenheit des Gases hinsichtlich der Billigkeit in schlagendster Weise ergeben.

§ 57. Kosten der Glühlichtbeleuchtung bei Central-Anlagen. Frage nach der Rentabilität letzterer.

Bezüglich des Preises des Glühlichtes bei den Edison'schen Districtanlagen in New York und anderen Städten haben wir bereits (pag. 94) mitgetheilt, dass allgemein 1000 Kerzenstunden mit 1 $ (= 4 Mark) berechnet werden. Es entspricht dies, wie von den Edison-Gesellschaften hervorgehoben wird, ungefähr dem Preise des Leuchtgases, aber unter der Annahme, dass, um mittels des letzteren eine gleiche Lichtstärke zu erhalten wie mittels der Edison'schen Lampen, ein Consum von 7½ Cub.′ = 212,45 l Gas pro Stunde erforderlich sei. Diese letztere Annahme ist aber im Allgemeinen sowohl, wie auch ganz besonders für die New Yorker Gasfabriken durchaus nicht zutreffend. Die Controlle dafür liegt in den Messungen, welche von dem „Superintendent of Lamps and Gas" betreffs des für die Strassenlaternen gelieferten Gases angestellt werden[1]). Wenn daher beispielsweise in der von der New Yorker Edison-Gesellschaft (New York, 65 fifthe Avenue) jüngst herausgegebenen Publication „The Edison System of incandescent electric lighting etc." pag. 12 wiederum veröffentlicht ist, dass die sogenannten 5′-Brenner = 141,56 l für gewöhnlich ein Licht von noch nicht 12 Normalkerzen geben, und dass, um dieselbe Lichtintensität wie die einer 16-kerzigen, Edison'schen Normallampe zu erhalten, ein 7 bis 7½ Cub.′ (= 200—212 l) Gas pro Stunde verbrauchender Brenner gewählt werden müsse, so ist dies eine

---

[1]) Vergl. Report of the Superintendent of Lamps and Gas, Department of Public Works, New York 31. Dec. 1882, p. 16.

Behauptung, die durch nichts gestützt ist und überhaupt bei regulärem Betriebe der Lampen, bei dem als Durchschnitts-Lebensdauer der Lampen 600 Brennstunden garantirt werden können, auch überhaupt nicht zu beweisen ist.

Nimmt man die Lichtstärke einer Gasflamme bei 5 Cub.' Gasconsum pro Stunde zu 16 N.-K. und gleich der einer 16-kerzigen Edison-Lampe an, so ergiebt sich bei Zugrundelegung des Durchschnittspreises von 9,40 M. pro 1000 Cub.' der 11 verschiedenen Gasgesellschaften[2]) in New York, dass das Edisonlicht etwa $^1/_3$ theurer ist, als das Gaslicht. Und zwar stellt sich der Preis wie folgt:

in New-York: Gas-Preis 1000 Cub.'	2,35 $[3])	=	9,40 M.
Edison-Licht 1000 N.-K.	1 $	=	4 M.
also Preis einer			
16-kerzigen Gasflamme pro Stunde (5 Cub.' = 141,6 l) . .	1,17 ct	=	4,68 Pf.
16- „ Edison-Lampe „ „ . .	1,6 ct	=	6,4 Pf.

während in Berlin bei den gegenwärtig üblichen Gaspreisen von 16 Pf. pro Cubikmeter und den für die centrale Glühlicht-Beleuchtung eines Theiles von Berlin in Aussicht genommenen Preisen der Deutschen Edison-Gesellschaft sich die Preise normiren für

die 16-kerzige Gasflamme (140 L. pro Stunde) zu 2,24 Pf.
„ 16- „ Edison-Lampe „ „ 4 Pf.

Aus den voraufgeschickten Bemerkungen geht hervor, dass der von Edison für die nach seinem System in Ausführung gebrachten Glühlicht-Anlagen von Städten resp. Districten von Städten festgesetzte Preis (1000 Kerzenstunden à 4 M.) nicht das Mindeste zu thun hat mit dem Herstellungspreise des Lichtes. Er ist einzig und allein dem in New York herrschenden Preise des Leuchtgases angepasst und würde daher durch etwaige Schwankungen des Werthes des letzteren vermuthlich gleichfalls entsprechend beeinflusst werden.

Welches der pecuniäre Erfolg von Edison's centraler Stadtbeleuchtung sei, ist bis jetzt noch unbekannt, indess soll die Companie gegenwärtig (Sommer 1884) ebenso schwer Käufer für ihre

---

[2]) Eine dieser Gesellschaften berechnet 28,31 cbm = 1000 Cub.' mit 12 M., eine andere mit 10 M., die übrigen mit 9 M.

[3]) In metrisches System umgerechnet würde dieser Preis $33^1/_5$ Pf. pro Cubikmeter entsprechen.

Actien finden, als dies Anfangs ihr leicht war. Im Allgemeinen heisst es, dass sich Edison's Central-Anlagen bei den gegenwärtigen Preisen nicht rentiren. Ohne Zweifel liegen auch die Verhältnisse hier viel ungünstiger, als das bei den Einzelanlagen der Fall ist, insofern als hier die unterirdisch gelegten Kabel einen so immensen Werth repräsentiren und das Anlage-Capital so beträchtlich erhöhen. In physikalischer Beziehung sind die Edison'schen, von centraler Stelle aus betriebenen Lichtanlagen vom vollkommensten Erfolge gekrönt gewesen, ob sie es auch in finanzieller Beziehung sein werden, kann allein die Zeit lehren. Die Hauptfrage ist, ob die Kabel dauernd in genügender Weise ihre Isolation behalten, indess haben wir nach den bisherigen Erfahrungen doch wohl Grund, anzunehmen, dass sie dies thun werden. Im Allgemeinen haben sich auch die von Edison gewählten Einrichtungen des New Yorker Stationsgebäudes, einschliesslich seiner Dampfdynamos bewährt, trotzdem es fraglich ist, ob man die Dimensionen der letzteren für ähnliche Anlagen beibehalten wird, oder besser eine grössere Zahl kleinerer Maschinen verwendet. Bei so grossen Dimensionen ist die beim Leergang der Maschine zu leistende Arbeit eine sehr beträchtliche, bei den Edison'schen Dampfdynamos soll sie 23 bis 27 Pferdekräfte erfordern, und dieses bewirkt ein sehr viel ungünstigeres Resultat bezüglich der pro Pferdekraft erhaltenen Anzahl von 16-kerzigen Edison-Lampen, wenn — wie das naturgemäss häufig genug vorkommt — eine geringere Anzahl Lampen mit den Maschinen getrieben wird, als für welche sie bestimmt sind. Nach Versuchen, welche Mr. J. L. Hornig angestellt hat[4]), beträgt der durch die Reibung etc. der Maschine hervorgebrachte Verlust

20% bei Benutzung der Maschine für $^1/_2$ ihrer Maximal-Leistungsfähigkeit
34% „ „ „ „ „ $^3/_{10}$ „ „
54% „ „ „ „ „ $^3/_{20}$ „ „

und dies hat zur Folge, dass, während bei einem Betriebe von 1000 Lampen vermittels einer der Dampfdynamos etwa 7,3 Lampen pro Pferdekraft erhalten werden, bei Speisung von nur 300 Lampen diese Zahl auf 3,3 Lampen pro 1 Pferdekraft hinabsinkt! Es hängt dies damit zusammen, dass alle Maschinen, die für eine bestimmte Maximalarbeit gebaut sind, für eben diese die grösste Oekonomie

[4]) Transactions of the Amer. Soc. of. mechan. Engeneers IV. 1883. New York.

zeigen, während ihr Kraftverlust in Folge von Reibung, Transmission, Kuppelungen etc., um bei bestimmt gegebener Umdrehungsgeschwindigkeit Arbeit zu leisten, im Wesentlichen constant ist, welche Arbeitsleistung auch immer die Maschine gerade hervorbringen mag. Deswegen wird es vermuthlich vortheilhafter sein, Maschinen von verschiedener Leistungsfähigkeit mit einander zu combiniren, als lauter Maschinen von nur einer Grösse zu verwenden. Man würde also zunächst eine kleinere Maschine verwenden; ist die zu leistende Arbeit grösser als der Leistungsfähigkeit der Maschine entspricht, so wird die Arbeit auf eine grössere zu übertragen sein, und die kleine abgestellt werden resp. wenn später erforderlich, zur Unterstützung jener zu verwenden sein, so zwar, dass die gerade im Gange befindlichen Maschinen immer möglichst nahe ihrer Maximal-Leistungsfähigkeit gehalten werden, um auf diese Weise einen möglichst ökonomischen Betrieb der Maschinen-Anlage zu sichern.

Capitel V.

Theorie der Glühlicht-Beleuchtung[1]).

Wir haben uns im Vorhergehenden hauptsächlich mit den praktischen Fragen elektrischer Glühlicht-Beleuchtungen beschäftigt und wollen nun sehen, was sich für sie aus der Theorie folgern lässt. Wir werden dadurch zu einer Reihe von Schlüssen gelangen, welche für den vorliegenden Zweck, die Beurtheilung der Oekonomie der Glühlicht-Lampen, von der grössten Bedeutung sind.

§ 58. Verhältniss der von der Kohlenfaser der Lampe ausgesandten Licht- und Wärmestrahlung.

Wenn wir uns überlegen, welche Rolle der elektrische Strom in den Glühlampen zu spielen hat, so haben wir dabei zwei Perioden

[1]) Mit Benutzung von Wilhelm Siemens' Aufsatz über die Beleuchtung durch Glühlicht. El. Z. IV p. 107—116. 1883.

zu unterscheiden. Die erste ist von kurzer Zeitdauer, in ihr wird vom ersten Eintritt des Stromes ab die Temperatur der Kohlenfaser in Folge des Widerstandes, den die Bewegung der Elektricität in der dünnen, relativ schlecht leitenden Kohle erfährt, mehr und mehr steigen, gleichzeitig wird die Kohlenfaser Wärme gegen ihre kältere Umgebung hin ausstrahlen, die Menge der ausgestrahlten Wärme wird grösser und grösser werden, je höher die Temperatur der Kohle in Folge des sie durchfliessenden Stromes steigt, bis sich schliesslich ein gewisser Gleichgewichtszustand hergestellt hat, der das Ende der ersten Periode der Stromwirkung bildet und der dadurch charakterisirt ist, dass die in einer gewissen Zeit durch Ausstrahlung von der Kohle nach aussen hin abgegebene Wärmemenge gerade ersetzt wird durch die während derselben Zeit der Kohle vom Strom zugeführte. Das, was von nun ab, so lange die Glühlampe brennend erhalten wird, vom Strom an Arbeit zu leisten ist, ist einzig und allein das Ersetzen des durch Ausstrahlung bewirkten Wärmeverlustes der Kohlenfaser. Wie viel Strahlen ausgesendet resp. wie viel Wärme von einem und demselben Körper ausgestrahlt wird, hängt von dreierlei ab: 1) von der Grösse seiner Oberfläche, 2) von deren Natur und 3) von dem Unterschiede zwischen seiner Temperatur und der seiner Umgebung. Leiten wir einen nur schwachen elektrischen Strom beispielsweise durch einen Platindrath, so wird dessen Temperatur steigen, die ihm genäherte Hand wird die Wärmestrahlung spüren, aber unser Auge noch keinerlei Veränderung wahrnehmen. Steigern wir weiter die Stärke des hindurchfliessenden, elektrischen Stromes und dadurch auch die Temperatur des Drathes, so wird bei einer gewissen Stromstärke der Drath zunächst dunkelroth zu glühen beginnen. Die Temperatur, bei der dies eintritt, ist den Versuchen Draper's zufolge für alle festen Körper dieselbe (525°). Beim Hindurchleiten eines stärkeren Stromes und einer gewissen dadurch erreichten höheren Temperatur, welche wieder für alle Körper dieselbe ist, wird der Drath, ausser den rothen, nun auch gelbe, dann grüne u. s. w. Lichtstrahlen aussenden und jemehr wir die Temperatur steigern, um so mehr werden zu den bisher ausgesandten Lichtstrahlen immer neue und neue, optisch brechbarere hinzutreten. Der Drath wird uns schliesslich — wenn seine Temperatur so hoch geworden, dass er Strahlen aller verschiedenen Wellenlängen, d. h. aller verschiedenen Farben, für

welche unser Auge empfindlich ist, aussendet — „weissglühend" erscheinen.

Wir haben es also hier mit zweierlei Arten von Strahlen zu thun: mit Wärme- und mit Licht-Strahlen. Beide sind an sich gleichartig. Jeder Lichtstrahl ist zugleich auch ein Wärmestrahl; sie unterscheiden sich nur durch die Wirkungen, die sie auf uns ausüben, und je nachdem die von einem Körper ausgehenden Strahlen hauptsächlich von unseren Seh- oder aber von unseren Tastnerven empfunden werden, nennen wir sie Licht- resp. Wärmestrahlen, oder auch helle (leuchtende) und dunkle (Wärme-)Strahlen. Der Unterschied liegt also in uns, in unserer Empfindung. Jeder bestimmten Gesammtstrahlung, d. h. jeder bestimmten Gesammtmenge der von einem gegebenen Oberflächenstück ausgesendeten Strahlen entspricht dabei ein ganz bestimmter Procentsatz an Lichtstrahlen und zwar bilden letztere einen um so höheren Bruchtheil der Gesammtstrahlung, je höher die Temperatur des ausstrahlenden Körpers ist.

Daraus würde sich als erste Folgerung für die Glühlampen ergeben, dass wir die Temperatur des Kohlenfadens möglichst hoch zu wählen haben, um möglichst ökonomische Lampen zu erhalten.

Es erklärt sich hieraus, dass man bei Glühlichtern für einen gewissen Kraftaufwand um so mehr Licht erhält, je höher die Temperatur des Kohlenfadens ist. So erhält man z. B. für die elektrische Pferdekraft kaum 10 Normal-Kerzen Licht, wenn der Kohlenfaden einer Glühlampe eben anfängt, dunkle Rothgluth zu zeigen, während derselbe im weissglühenden Zustande über 300 Normal-Kerzen pro Pferdekraft liefert.

Trotzdem aber ist dieser Antheil an Lichtstrahlen im Verhältniss zu der ganzen Zahl ausgesandter Strahlen immer nur sehr klein. Dies geht aus Tyndall's Versuchen hervor, bei welchen er die von verschiedenen Lichtquellen ausgesendeten Strahlen durch eine hinreichend concentrirte Jodlösung in Schwefelkohlenstoff hindurchgehen liess, um so die Lichtstrahlen gleichsam abzufiltriren, was möglich ist, da die Jodlösung für Wärmestrahlen fast vollkommen durchlässig, für Lichtstrahlen aber so gut wie undurchlässig ist. Auf diese Weise ermittelte er das Verhältniss der von der Jodlösung durchgelassenen zu der Gesammt-Strahlenmenge und erhielt so den %-Gehalt letzterer an Lichtstrahlen. Dieser Antheil

ist weit geringer als man für gewöhnlich geneigt ist zu glauben, er beträgt nämlich

für eine Oellampe nur	3%	von dem Gesammtwerth der
„ „ Gasflamme	4%	Strahlung
„ „ weissglühende Platinspirale	4,6%	
„ elektrisches Bogenlicht	10—11%	

Also selbst bei diesem letzteren, unter allen künstlichen Lichtquellen günstigsten Licht gehen 90% der Gesammtstrahlen in Form von Wärmestrahlung ungenutzt verloren, während nur 10% als Licht auftreten. Durch fort- und fortgesetztes Steigern der Temperatur des Kohlenfadens einer Glühlampe würden wir demnach (wie bereits auf Seite 125 erwähnt, auch nur dieses Verhältniss von 10% höchstens erreichen können. Es fragt sich, ob man dieses Verhältniss der Menge der Licht- zu der der Gesammtstrahlen durch passende Wahl der Oberfläche des strahlenden Körpers etwa wird günstiger gestalten und dadurch eine höhere Oekonomie der Glühlampen wird erzielen können. Wilhelm Siemens citirt in seinem Aufsatz[2]) „über die Beleuchtung durch Glühlicht" bezüglich dieser Frage einen Versuch Tyndall's, durch den derselbe nachgewiesen hat, dass bei geringerer Temperatur die Ausstrahlung des Ameisenäthers grösser sei, als die des Schwefeläthers, während bei höherer Temperatur dass Verhältniss sich umkehre. Es würde das heissen, dass die Strahlung des Schwefeläthers verhältnissmässig mehr Strahlen von kleinerer Wellenlänge besitzt als der Ameisenäther, und wenn dies Verhältniss der einzelnen Strahlen bei einer rein dunklen d. h. reinen Wärmestrahlung für verschiedene Substanzen verschieden ist, so wäre allerdings die Annahme berechtigt, dass dasselbe auch für leuchtende Strahlen zutreffe.

Dafür, dass derartige Unterschiede auch bei verschiedenartigen Kohlen für die Oekonomie der Glühlampen in Betracht kommen, giebt Wilhelm Siemens folgendes Beispiel an. Wie bereits früher erwähnt, werden die Kohlenfasern der Maxim'schen Glühlampen durch Glühen in einer künstlichen Atmosphäre eines leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffes präparirt, wodurch sich auf ihrer Oberfläche ein feiner, graphitartiger Kohlenüberzug in Folge des bei der hohen Temperatur der glühenden Kohlenfaser sich dissociiren-

[2]) Wilhelm Siemens, El. Z. IV p. 114, 1883.

den Kohlenwasserstoffes absetzt. Siemens giebt nun an, dass bei einer derartig gefertigten Lampe zunächst einer gewissen Lichtstärke ein bestimmter Arbeitsaufwand des elektrischen Stromes (gegeben durch das Product von Stromstärke mal Potentialdifferenz $= i \cdot e$) entspreche, dass aber mit der Zeit die Lichtstärke heruntergehe, ohne dass dabei der Widerstand der Kohle, also auch ohne dass sich die aufgewendete elektrische Arbeit — und diese ist ja eben Stromstärke mal Potentialdifferenz[3]) — geändert habe. Somit muss, da die zugeführte Arbeit, also auch die dadurch hervorgebrachte Wärmemenge constant geblieben ist, auch die Gesammtausstrahlung constant geblieben sein, und man könnte sich diesen Vorgang nun sehr wohl dadurch erklären, dass durch die Einwirkung des Stromes die molekulare Beschaffenheit der Oberfläche der Kohlenfaser in der Art verändert worden sei, dass sie nun eine Vergrösserung des Ausstrahlungsvermögens zur Folge habe. Damit würde ein Sinken der Temperatur verknüpft und mithin das Heruntergehen der Lichtstärke in einfachster Weise erklärt sein. Man müsste aber dann zugleich annehmen, dass durch ein Verstärken des elektrischen Stromes oder durch einen grösseren Arbeitsaufwand die frühere Temperatur des Fadens wieder hergestellt werden könne, und dass dann diese und die vorherige Lichtstärke sich verhalten, wie die aufgewendeten Arbeitsmengen. Indess ist dies nicht der Fall. Dem Steigen der Lichtstärke entspricht ein ganz unverhältnissmässig starkes Anwachsen des Arbeitsaufwandes, und es ergiebt sich somit das Resultat, dass die Kohle im ersten Stadium für die Oekonomie der Lichterzeugung vortheilhafter sei als im zweiten.

Die Möglichkeit einer derartigen Erklärung, wie sie in der eben angeführten Weise von Wilhelm Siemens gegeben, ist nicht abzuleugnen, aber ihre Wahrscheinlichkeit resp. Richtigkeit wird noch durch das Experiment zu prüfen sein, da Tyndall's erwähnte Versuche wohl kaum einwurfsfrei sind. Eine derartige experimentelle Beweisführung, direct für Glühlichter durchzuführen, dürfte indess vermuthlich an der Nichterfüllbarkeit der nothwendigen Bedingung scheitern, die Kohlenfasern der verschiedenen, zu vergleichenden Lampen auf genau die gleiche Temperatur zu bringen.

---

[3]) Vergl. S. 17.

§ 59. Wahl der Grösse und Gestalt der Oberfläche der Kohlenfaser.

Wir wollen nun im Folgenden die Voraussetzung gleichen Materials und gleicher Oberflächenbeschaffenheit der Kohlenfaser der zu betrachtenden Glühlampen einführen. Fügen wir zu diesen Annahmen zunächst auch noch die der gleichen Erhitzung durch den Strom hinzu, so geht aus dem, was Eingangs dieses Capitels[1]) auseinandergesetzt ist, hervor, dass wir genau die gleiche Stromarbeit werden zu leisten haben, um dieselbe Lichtmenge zu erzeugen. Die Gesammtstrahlung, also auch der %Gehalt dieser an leuchtenden Strahlen ist bei als gleich vorausgesetztem Material, Zustand der Oberfläche und der Temperatur proportional der Grösse der Oberfläche des ausstrahlenden Körpers, und wir werden daher unter den gemachten Annahmen, um eine gewisse Lichtstärke zu erhalten, sämmtlichen Lampen eine gleich grosse strahlende Oberfläche zu geben haben. Es muss für die Oekonomie der Lampen völlig gleichgültig sein, ob diese Oberfläche zu einem kurzen und dicken, oder zu einem langen und dünnen, zu einem hohlen oder massiven Kohlenfaden gehört. Die Grösse der Gesammtstrahlung hängt eben (unter sonst gleichen Bedingungen) einzig und allein von der Grösse der Oberfläche ab. Nun aber ist die Arbeit des Stromes doch offenbar die, die durch diese Ausstrahlung bewirkte Wärmeabgabe der glühenden Kohle durch entsprechende Wärmezufuhr zu decken und daraus folgt unter anderem auch gerade, dass es gleichgültig sein muss, ob wir die Kohlenfaser voll oder hohl wählen.

Einer bestimmten Lichtmenge entspricht also eine bestimmte Gesammtstrahlung, also auch eine ganz bestimmte Grösse der Oberfläche und eine ganz bestimmte Arbeitsleistung des Stromes. Die letztere ist aber — wie schon mehrfach erwähnt — gleich Stromstärke (i) mal elektromotorischer Kraft (e). Die Arbeitsleistung $e \cdot i$ bleibt hiernach ungeändert, wenn man beide Factoren des Productes $e \cdot i$ in der Weise variirt, dass das Product selbst constant bleibt (also: $e \cdot i =$ constant). Je grösser e gewählt wird, um so kleiner muss i werden, es entsprechen also derselben Arbeitsleistung

[1]) Seite 153.

die verschiedenartigsten Ströme; Ströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke einerseits und Ströme von geringer Spannung und grosser Stromstärke andererseits. Welcher Art die zu wählenden Ströme bei Benutzung einer bestimmten Lampenart sind, hängt allein von dem Widerstande w der letzteren ab. Den Strömen mit hoher Spannung und geringer Stromstärke werden Lampen mit langen, dünnen Fäden entsprechen; hingegen werden für die Ströme von geringerer Spannung und grösserer Stromstärke Lampen mit kurzen, dicken Kohlenfasern zu verwenden sein. Die Kosten der Arbeitsleistung selbst sind in allen Fällen die gleichen; nur die Kosten der Anlage (Leitungen etc.) ändern sich. Es ist dieser Satz übrigens auch an sich klar, insofern er im Grunde nichts anderes sagt als, dass eine bestimmte Menge Arbeit stets einer bestimmten Menge Wärme äquivalent ist. Die Gleichung $e \,.\, i =$ const. lässt sich aber mit Berücksichtigung von $i = \frac{e}{w}$ auch $e\,i = \frac{e^2}{w}$ $= i^2\,w =$ const. schreiben und giebt uns so die Beziehung an, in welcher i, e und w stehen. Es bezeichnet dabei i die Stromstärke in der Kohlenfaser, w deren Widerstand und e den an den Enden der Kohlenfaser der Lampe herrschenden Unterschied der elektrischen Spannung d. h. die elektromotorische Kraft.

Es entsteht nun die Frage: „Welche Lampenart soll man vorziehn, wenn man doch dem Vorherigen zufolge zur Erzeugung einer bestimmten Lichtstärke (immer gleiche Temperatur und gleiche Beschaffenheit der Oberfläche vorausgesetzt) der Oberfläche der Kohlenfaser nur eine gewisse Grösse zu geben hat und also Kohlen von den verschiedensten Umfängen und entsprechenden Längen d. h. von den verschiedensten Widerständen wählen kann, welche sämmtlich für dieselbe aufgewendete Kraft dieselbe Menge Licht uns ergeben?“ Offenbar die Lampe, welche eine möglichst grosse Lebensdauer besitzt und gleichzeitig ein möglichst geringes Anlage-Capital der ganzen Beleuchtungsanlage erfordert.

Bezüglich des ersteren dieser beiden Punkte sind die Lampen mit dicker, kurzer Kohlenfaser ohne Zweifel denen mit dünneren, längeren Kohlen weit überlegen. Nicht nur dass sie mechanische Einwirkungen, grössere Stösse, beim Transport beispielsweise, besser vertragen, sondern sie halten auch höhere Erhitzung und — da sie nur eine geringe Spannung des sie durchfliessenden

Stromes erfordern — längere Zeit dessen zerstörende Einwirkungen aus. Die letzteren bestehen in einem allmäligen Dünnerwerden der Kohlenfaser in Folge des Ablösens von Kohlepartikelchen von der Oberfläche der glühenden Lampenfaser. Dieses Loslösen findet nach Edison's Erfahrungen auf der einen Seite des Kohlenbügels rascher statt als auf der anderen und tritt unter gleichzeitiger Schwärzung der Glasglocke der Lampe um so schneller ein, je höher wir die Temperatur der Kohlenfaser steigern. Der Grund dieser Erscheinung wird vermuthlich darin zu suchen sein, dass bei den Lampen mit dünner, langer Kohlenfaser die Enden derselben resp. die ihnen nahe gelegenen Theile der beiden Hälften des Kohlenbügels relativ sehr hohe Unterschiede der elektrischen Spannung haben d. h. stark anziehend auf einander wirken und so die eventuell loser auf der Oberfläche der Lampenfaser aufsitzenden Kohlentheilchen losreissen.

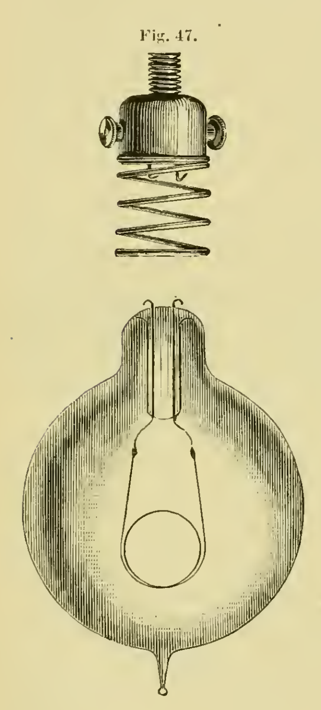
Den zuvor erwähnten Vortheilen der dickeren Kohlenfasern stehen indess bei weitem grössere Nachtheile entgegen. Zunächst nämlich ist der Satz, dass die zur Hervorbringung einer bestimmten Lichtstärke zu leistende Stromarbeit bei Lampen von verschiedener Dicke und Länge, aber gleicher strahlender Oberfläche des Kohlenfadens stets die gleiche sei, nur so lange richtig, als wir annehmen dürfen, dass die Kohlenfasern aller gedachten Lampen nur durch Strahlung, nicht aber durch Leitung Wärmeverlust erleiden. Und diese Annahme trifft für Kohlenfasern von grossem Querschnitt nicht zu. Je dicker die Kohle um so mehr Wärme wird sie durch Leitung an die in die Glasglocke eingeschmolzenen Platindräthe abgeben. (Aus diesem Grunde sind auch die neueren Maxim'schen, auf Seite 118 abgebildeten Lampenfasern, bei weitem den älteren überlegen, bei welchen die breiten, die Wärme schlecht leitenden Endstücke der Kohlenfaser fehlten resp. ausserordentlich viel kleiner und kürzer waren.)

§ 60. Einfluss der Wahl der Lampe auf die Dicke der Zuleitungen.

Bei Verwendung von Lampen von grosser Stromstärke, also kleinem Widerstande und kleiner Spannung müssen die erforderlichen Zuleitungen sehr beträchtliche Dimensionen erhalten und die dadurch erwachsenden Kosten sind bei einigermaassen grossen Beleuchtungs-

anlagen so gross, dass bezüglich der Wahl der Lampen — ob von hohem oder von geringem Widerstande — kein Zweifel herrschen kann. Je grösser eben die Stromstärke, um so dicker und kostspieliger die Zuleitung. Wie schon früher gelegentlich bemerkt, wird ein Theil der gesammten vom elektrischen Strom erzeugten Wärme stets in den Zuleitungen nutzlos verloren gehen, und um diesen Verlust den Betrag 10% von der in den Lampen auftretenden Wärme nicht überschreiten zu lassen, ist es erforderlich, die Zuleitungen so zu wählen, dass ihr Widerstand höchstens $^1/_{10}$ desjenigen der Lampen beträgt. Nun aber verhalten sich die Widerstände verschiedener Lampen von gleicher Lichtstärke, gleicher Temperatur und gleichem Material umgekehrt wie die Quadrate der entsprechenden Stromstärken (da: $i^2 w = \text{const.}$), und es darf daher eine Lampe, welche bei einem doppelt (resp. dreifach) so starken Strom dieselbe Lichtstärke ergeben soll, wie eine andere bei einfachem Strom, nur den vierten (resp. neunten!) Theil des Widerstandes haben als die letztere. Die Swan-Lampen (Fig. 47), deren Kohlenfaser aus einem carbonisirten, spiralförmig gewundenen Baumwollenfaden besteht, erfordert beispielsweise zu ihrem Betriebe etwa den doppelten Strom als eine der neuen Edison'schen Lampen, hat aber nur etwa den vierten Theil des Widerstandes der Letzteren und wenn wir in beiden Fällen nur 10% der in den Lampen erzeugten Wärme in den Leitungen verloren geben wollen, so müssen wir das Verhältniss des Widerstandes der Lampen zu dem der Leitung in beiden Fällen gleich wählen, d. h. es würde eine mit Swan-Lampen ausgeführte Beleuchtungsanlage hiernach offenbar 4mal so viel Kupfer als Zuleitung erfordern, als eine mit Edison-schen Lampen ausgeführte.

Fig. 47.



Man kann allerdings den in der Kostspieligkeit der Leitung beruhenden Nachtheil der Lampen von kleiner Spannung, für welche

sonst die grössere Leichtigkeit, hinreichende Isolation zu erzielen, und die grössere Betriebssicherheit sprechen würde, dadurch beseitigen, dass man zu gewissen Combinationen von Parallel- und Hintereinanderschaltungen der Lampen seine Zuflucht nimmt. Bei den Swan-Lampen findet man häufig derartige Anordnungen, dass je 2 oder mehr Lampen hintereinander und diese Paare unter sich parallel geschaltet sind; oder dass man die Anlage aus zwei oder drei grossen hintereinander geschalteten Gruppen bestehen lässt, deren jede aus einer gleichen Zahl parallel geschalteter Lampen besteht. Die erste Anordnung hat natürlicherweise den Nachtheil, dass mit einer Lampe auch zugleich das ganze Paar erlischt, bei der zweiten Anordnung ist das Erlöschen einer Lampe allerdings nicht von dem Erlöschen anderer begleitet, indessen ist zu beachten, dass es derselbe Strom ist, der durch die einzelnen Gruppen fliesst und dass jede derselben den ganzen Strom zu bewältigen im Stande sein muss, der beim Erlöschen mehrerer Lampen sich nun auf die geringere Zahl der übrigbleibenden vertheilen und diese dadurch erheblich höher anspannen würde. Derartige, wie die ebenerwähnte Schaltungsweise, werden daher nur in ganz besonderen Fällen z. B. bei Theatern, Concert- und grossen Fabriksälen etc., wo alle im Kreise befindlichen Lampen stets gleichzeitig brennen, zu billigen und zu benutzen seien, nicht aber da, wo ein von einander unabhängiges Brennen der einzelnen Lampen gewünscht und erforderlich ist, und wo es darauf ankommt, einzelne oder eine grössere Anzahl der in demselben Kreise befindlichen Lampen nach Belieben ein- oder ausschalten zu können.

§ 61. Lampen verschiedener Lichtstärke.

Besonders schwerfällig für die Anlage erscheint schliesslich die erwähnte Gruppenschaltung (selbst in dem Falle, wenn alle Lampen stets gleichzeitig brennen) dann, wenn es sich um Anbringung von Lampen verschiedener Lichtstärke und deshalb auch Stromstärke in derselben Gruppe handelt. Man wird daher den Lampen von hoher Spannung und geringer Stromstärke für alle irgend beträchtlicheren Beleuchtungsanlagen den Vorzug geben müssen vor den grössere Stromstärke und kleinere Spannung erfordernden Lampen

von geringem Widerstande. Wie hoch man aber diesen letzteren selber d. h. wie klein man den Querschnitt der Faser und dementsprechend wie hoch man die Spannung zu wählen hat, hängt davon ab, ob dabei auch den Ansprüchen an Haltbarkeit noch hinreichend genügt werden kann oder nicht.

Lampen verschiedener Lichtstärke zu construiren, die sämmtlich für ein und dieselbe Spannung dienen d. h. alle in paralleler Schaltung sollen verwendet werden können, hat theoretisch keine, sondern höchstens praktische Schwierigkeit[1]). Wiederum soll gleiches Material, gleiche molekulare Beschaffenheit der Oberfläche und gleiche Erhitzung vorausgesetzt werden. Einem Quadratcentimeter einer solchen Oberfläche wird alsdann eine bestimmte Lichtstärke entsprechen, gleichviel ob dieses Quadratcentimeter einer dünnen oder dicken Kohle angehört, oder ob es sich um eine Lampe von hoher oder von niedriger Spannung handelt. Umgekehrt würde einer Normalkerze ein bestimmtes Oberflächenstück entsprechen, und je nach der Zahl der Normalkerzen, die die Lampe geben soll, wird die Grösse der Oberfläche durch eine entsprechende Zahl solcher Normalstücke bedingt sein.

In welcher Weise nun diese Oberflächenstücke sich zusammensetzen müssen, oder welche Form man der so gebildeten Oberfläche zu geben hat, damit die Lampen von verschiedener Kerzenstärke in denselben Kreis passen, das hängt noch von einigen Annahmen ab. Je nachdem man die Lampen des Kreises hinter einander oder parallel schaltet, werden die Lampen, ob gross oder klein, entweder für eine constante Stromstärke oder für eine constante Spannungsdifferenz eingerichtet werden, und es wird in dem Product $e \cdot i$ entweder e oder aber i constant erhalten werden müssen, um ein gleichartiges Brennen aller Lampen zu ermöglichen. Es bezeichne l die Länge, d den Durchmesser der als rund angenommenen Kohle und w_s den specifischen Leitungswiderstand derselben, und es werde beachtet, dass die ausgestrahlte Wärmemenge proportional mit $l \cdot d$ ist. Betrachten wir zuerst den Fall, dass die Lampen sich alle hintereinander geschaltet befinden, und dass also die Stromstärke i im Kreise constant ist, so ergiebt sich:

[1]) Vergl. p. 88.

$$l \,.\, d \,.\, c = i^2 w \,.\, c_1 \quad {}^{2})$$
$$= \frac{i^2 w_s l}{\frac{d^2}{4}\pi} \cdot c_1$$

daraus folgt bei Fortlassung der übrigen Constanten, $i^2 w =$ const. $= d^3$, also d constant. Also, die Bedingung dafür, dass Lampen von verschiedener Lichtstärke hintereinander im gleichen Kreise unter Voraussetzung gleicher Erhitzung brennen sollen, ist, dass der Durchmesser der Kohle in allen Lampen derselbe ist. Die Lampen von verschiedener Lichtstärke können sich also nur durch die Längen ihrer Kohlenfasern unterscheiden, ihre Lichstärken sind jenen Längen proportional. Praktisch ist dieser Fall indess kaum von Bedeutung.

Der gewöhnliche Fall ist der, dass alle Lampen im Kreise parallel geschaltet sind. Aus diesem Grunde muss sowohl die kleinste wie die grösste Lampe für dieselbe Spannung (e) eingerichtet sein. Es ist

$$e\, i = \frac{e^2}{w} = \frac{e^2}{\frac{l \,.\, w_s}{\frac{d^2}{4}\pi}} \text{ proportional } l \,.\, d,$$

daraus folgt

$$\frac{e^2 \,.\, \text{const.}}{w_s} = \frac{l^2}{d} = \text{const.}$$

und wenn l_1 und d_1 die Dimensionen einer gegebenen Lampe, l_2 und d_2 die der gesuchten, zu construirenden Lampe von gleicher Spannung und gleicher Erhitzung sind, so ist

$$\frac{l_2^2}{d_2} = \frac{l_1^2}{d_1} = \text{const. und } l_2\, d_2 = m \,.\, l_1\, d_1,$$

wobei m das Verhältniss zwischen den beiden Oberflächen oder Lichtstärken angiebt. Daraus lassen sich die beiden Unbekannten l_2 und d_2 bestimmen.

Die Existenz von Lampen verschiedener Lichtstärke von constanter Spannungsdifferenz in demselben Kreise ist also davon ab-

---

[2]) c, c_1, w_s sind von der Natur der Kohlenfaser abhängige Constanten.

hängig, dass $\frac{l^2}{d}$ constant ist. Die Lampen werden sich also nicht nur durch ihre Länge, sondern in höherem Maasse durch ihren Durchmesser unterscheiden.

§ 62. Wahl der Spannung, Stromstärke etc. Neue (1883) Lampe von Siemens & Halske.

Hieran schliesst sich die Frage nach der Höhe der Spannung, die man zweckmässig dem ganzen, die verschiedensten Lampen umfassenden Systeme geben wird. Diese Spannung wird man so hoch als möglich wählen. Unter der Annahme gleichen Materials und gleicher Temperatur entspricht einer Lichtstärke von 10 Kerzen (eine geringere Kerzenzahl ist wohl kaum für den Hausgebrauch erforderlich) eine bestimmte Grösse der Oberfläche. Hat man nun eine Kohle von einem möglichst kleinen Durchmesser (d. h. so, dass sie noch gerade die Ansprüche hinreichender Haltbarkeit befriedigt), so macht man ihre Länge so gross, bis die einer Lichtstärke von 10 Normalkerzen entsprechende Oberfläche erreicht ist. Die Spannung des Stromes, welche die so gefertigte Glühlampe auf 10 Kerzen Leuchtkraft bringt, ist dann die gesuchte, und zwar ist ihre Grösse einmal bedingt durch die Leuchtkraft, die man der kleinsten Lampe des Systems geben will, und hängt zweitens von dem Grade ab, bis zu welchem man den Durchmesser der Kohle klein wählen darf, ohne dadurch ihre Haltbarkeit zu sehr zu gefährden.

Wilhelm Siemens glaubt, dass man bei dem vorhandenen Kohlenmaterial und dem augenblicklichen Stande der Fabrikation nicht mehr als 100 bis 110 Volt anwenden kann, wenn man noch Lampen von nur 10 Normal-Kerzen zu haben wünscht. Er giebt an, dass die Firma Siemens & Halske Lampen von 3 verschiedenen Lichtstärken von 10, 16, 25 Normal-Kerzen ausgebe, ihre Spannung sei 105 Volt.

Es sei ein wesentlich ästhetisches Erforderniss, dass alle diese Lampen, besonders bei Verwendung in einem und demselben Raum, in gleichem Ton oder mit gleicher Farbe brennen, und das stimmt, falls das Kohlenmaterial dasselbe ist, mit gleicher Erhitzung überein. In diesem Falle müssten sich die Oberflächen der verschie-

denen Kohlen wie die entsprechenden Lichtintensitäten verhalten, was bei den erwähnten 3 Lampensorten annähernd zutrifft.

Normal-Kerzen	Durchmesser mm	Länge mm	Querschnitt qmm	Oberfläche qmm
10	0,15	110	0,017	50
16	0,20	125	0,031	75
25	0,27	145	0,056	120

Aus der obigen Tabelle ist ersichtlich, dass die Querschnitte der Lampen von verschiedener Lichtstärke in schnellerem Grade zunehmen, als die Lichtstärken und Oberflächen, es ist damit eine Zunahme der Haltbarkeit und der Lebensdauer der stärkeren Lampen verbunden. Es folgt daraus, dass in einem Glühlichtsysteme von verschieden starken Lichtern die schwächeren in höherem Maasse in Anspruch genommen sind, als die stärkeren, und dass es sich deshalb empfehlen wird, möglichst den starken Lichtern den Vorzug zu geben. Da die Spannung, auf die das ganze System eingerichtet ist, mit Rücksicht auf die kleinste zu verwendende Lampe gewählt ist, so kann man bei Weglassung der kleineren Lampennummern die grösseren in stärkerem Maasse beanspruchen und dadurch ein weisseres Licht und eine höhere Oekonomie erzielen. Es ergiebt sich ferner, dass der Vortheil der Lampen von kleiner Spannung, welcher in dem grösseren Durchmesser und der grösseren Haltbarkeit besteht, umsomehr gegenüber den Lampen von höherer Spannung verschwindet, je grösser man deren Lichtstärke wählt.

Der Vollständigkeit halber möge in der nachstehenden, von Wilhelm Siemens[1]) veröffentlichten Tabelle eine vergleichende Zusammenstellung der Constanten 1) der neuen, oben erwähnten Siemens & Halske'schen Glühlampen, 2) der älteren und 3) der Edison'schen A-Lampe gegeben werden (s. folgende Seite).

Die unterste Reihe dieser Tabelle, welche die pro 1 elektrische Pferdekraft mittels der verschiedenen Lampen gelieferte Anzahl Normal-Kerzen angiebt, zeigt einen wesentlichen Fortschritt der neuen Lampenform gegen die ältere. Diese günstigeren Resultate sind, wie Wilhelm Siemens hervorhebt, lediglich durch eine andere Wahl des Kohlenmaterials und dessen Behandlungsweise er-

[1]) Wilhem Siemens, El. Z. IV p. 331; 1883.

	Neue S. und H-Lampen No. II	IV	VI	Frühere S- u. H-Lampen II	IV	VI	Edison A-Lampe
Normalkerzen	12	16	25	12	16	25	16
Volt	100	100	100	102,1	101,4	101,7	100,4
Ampère	0,41	0,55	0,80	0,5	0,72	1,15	0,71
Ohm (heiss)	244	182	125	204	141	88	141
Volt-Ampère	40,5	55	80	51,5	72,6	116,9	71,5
Normalkerzen pro 1 elektr. Pferdekraft . .	210	206	221	165	157	152	159

reicht worden. Indess gestatten die Zahlen nur dann einen Vergleich, wenn man annehmen darf, dass die Temperatur des Kohlenfadens bei den Versuchen nicht höher war, als bei Betrieb der anderen Lampen, eine Voraussetzung, deren Zutreffen oder Nichtzutreffen sich nicht beweisen lässt. Würde man beispielsweise die Edison'sche Lampe bei 114 Volt Spannung verwenden, so würde sie 25 Normal-Kerzen Licht ausgeben und eine Oekonomie von 200 Normal-Kerzen für die elektrische Pferdekraft zeigen. Ihr Kohlenfaden würde alsdann blendend weiss erscheinen, aber im Vergleich zu dem der neuen Siemens & Halske'schen Lampe einen „entschieden überhitzten" Eindruck machen. Gleichzeitig würde auch die Lampe ganz erheblich an der Länge ihrer Lebensdauer einbüssen, und hierdurch würde man das, was man auf der einen Seite für die Oekonomie ihres Betriebes an Licht gewonnen hat, auf der andern Seite durch die kürzere Lebensdauer der Lampe wieder einbüssen.

Der zweite Fortschritt der neuen Siemens & Halske'schen Glühlampe beruht darin, dass man in Folge der günstigeren Emissionsfähigkeit der Kohle im Stande ist, einen höheren Widerstand zu erzielen, ohne dass man gleichzeitig die Spannung zu steigern braucht, und dies ist als ein Vortheil zu betrachten, da der Betrieb um so sicherer ist, je niedriger die Spannung. Die Oekonomie der Leitung aber hängt allein von dem Widerstande der Lampen und nicht von der Spannung ab. Vergleichen wir eine Edison-A-Lampe und eine Siemens & Halske'sche IV-Lampe, beide zu 16 Normal-Kerzen und 100 Volt Spannung. Da der obigen Tabelle gemäss die Edison-Lampe etwa 30% mehr Kraft verlangt, so ist in dem Producte $e . i$ (weil die Spannungsdifferenz e für beide Lampen gleich ist) der Strom i um 30% höher. Folglich umge-

kehrt der Widerstand der IV-Lampe um 30% grösser. Dadurch ist bedingt, dass die Kohlen beider Lampen nicht die gleiche Gestalt haben; die Längen beider stimmen annähernd überein, aber der Querschnitt der Siemens & Halske'schen Lampe ist kleiner.

Hieraus folgert Siemens, dass, je günstiger die Emissionsverhältnisse für die Lichterzeugung liegen, desto kleiner für eine gewisse Spannung und Lichtstärke der Querschnitt des Kohlenfadens sein müsse. Im Allgemeinen ist dies kein Vortheil, indess soll die erwähnte Siemens'sche Lampe in Bezug auf Haltbarkeit durchaus befriedigen. Es würden dann also die neuen Siemens & Halske'schen Glühlampen eine erheblich verbesserte Oekonomie zeigen; der Kraftverbrauch ist 30% geringer und in Folge des grösseren Widerstandes der Lampen kann gleichzeitig eine beträchtliche Ersparung an Leitungsmaterial d. h. an Anlagecapital stattfinden. Es fragt sich aber dann noch, wie gross ist die Lebensdauer der Lampe beim Betriebe; das allein kann entscheiden.

Wie hoch man die Stromstärke wählen und wie hoch man dadurch die Temperatur der Kohlenfasern der Glühlampen steigern darf, kann nur aus der Erfahrung hervorgehen. Aus der Theorie würde folgen: Je höher um so besser, aber thatsächlich muss man sich dabei innerhalb gewisser Grenzen halten, da mit zunehmender Temperatur die Haltbarkeit und Lebensdauer der Lampe in Frage gestellt wird. Wie schon hervorgehoben, vertragen dickere Kohlen höhere Temperaturen als dünnere.

Alle die anderen, vielfach vertretenen Ansichten, dass ausser der Temperatur und der Art der Oberfläche noch eine Reihe von anderen Umständen (Form, Grösse, Dicke, Gestalt des Querschnittes, Widerstand, Leitungsvermögen der Kohle) Einfluss auf die Oekonomie der Glühlampen habe, sind unrichtig. Dieselbe ist vielmehr allein durch die Temperatur und die Beschaffenheit der Oberfläche der Kohlenfaser bedingt und es ist dabei völlig gleichgültig, wie geformt und wie gross diese Oberfläche ist, ob sie einer gut oder schlecht leitenden Kohle angehöre, und welches die Form ihres Querschnittes sei. Es wird daher derjenigen Glühlampe der Vorzug vor anderen gegeben werden müssen, die bei Annahme einer bestimmten Lebensdauer die höchste Temperatur zu ertragen fähig ist, und nicht etwa die, mit welcher man bei einem gewissen Arbeitsaufwand momentan das meiste Licht erhält.

Wenn auch, wie oben bemerkt, der specifische Leitungswiderstand der Kohle auf die Grösse der für die Arbeit $e \cdot i$ erhaltenen Lichtmenge (wobei Temperatur und Emissionsfähigkeit als constant angenommen werden) keinen Einfluss ausübt, so hängt dagegen das Verhältniss zwischen i und e von ihm ab, denn die an einer Lampe geleistete Arbeit ist $e \cdot i = i^2 w = \frac{e^2}{w}$, und für constante Lichtstärke, Durchmesser, Länge und Temperatur ist:

$$i^2 w_s = \frac{e^2}{w_s} = \text{const.},$$

wodurch offenbar der Zusammenhang zwischen i, e, w_s (dem specifischen Widerstand) gegeben ist.

Aus Gründen der Oekonomie der Leitung wird also ein hoher specifischer Widerstand vortheilhaft sein, obschon der Vortheil nicht gross ist, da e in viel geringerem Maasse wächst als w_s.

Dabei darf nicht übersehen werden, in wie weit mit Erhöhung des specifischen Widerstandes eine Veränderung der Art der Oberfläche und der Festigkeit der Kohle eintritt.

Ebenso wie die Leitungsfähigkeit ist die Form des Querschnittes für das Verhältniss der Factoren e und i von Einfluss. Denken wir uns 2 Kohlen von derselben Länge und demselben Querschnitte; der eine Querschnitt sei rund der andere rechteckig. Dann wird die rechteckige Kohle bei gleicher Länge eine grössere Oberfläche besitzen, während die Festigkeit beider Kohlen des gleichen Querschnittes wegen dieselbe sein wird. Bei derselben Temperatur würde daher die Strahlung der eckigen Kohle die grössere sein, da die Grösse der Strahlung der Oberfläche proportional ist. Um die Strahlung beider d. h. die ausgesendete Lichtmenge gleich zu machen, würde man die Länge der runden Kohle entsprechend grösser zu wählen haben. Somit hätten wir nun 2 Lampen von gleicher Oberfläche und Leuchtkraft, und ebenso wegen des gleichen Querschnittes von gleicher Haltbarkeit. Auch die aufzuwendende Stromarbeit $e \cdot i$ ist in beiden Fällen gleich. Da aber der Widerstand der runden Kohle in Folge ihrer grösseren Länge grösser ist als der der eckigen Kohle, so wird für die runde Kohle e grösser sein, für die eckige hingegen i. Aus diesem Grunde ist die runde Form des Querschnittes entschieden vorzuziehen, da man

eben bei demselben Arbeitsaufwand und bei derselben Haltbarkeit mit ihr zu einer höheren Spannung gelangt, ganz abgesehen davon, dass die Wahl eines kreisförmigen Querschnittes auch noch den weiteren Vortheil hat, eine gleichmässige Vertheilung des Lichtes in horizontaler Richtung zu gewähren.

Ein Vergleich wird dies erklären. Der Querschnitt der Edison'schen 16-kerzigen Lampenfaser ist ein Rechteck, dessen Seiten ungefähr 0,1 mm und 0,2 mm lang sind. Würde dieser Querschnitt bei gleichem Inhalte kreisförmige Gestalt haben, so könnte der Faden bei gleicher Oberfläche um etwa $^1/_6$ bis $^1/_7$ länger sein, was einem grösseren Widerstand und einer um ebensoviel höheren Spannung entsprechen würde. Dementsprechend würden auch die Zuleitungen um $^1/_6$ bis $^1/_7$ dünner genommen werden dürfen. Dasselbe in noch ausserordentlich viel höherem Grade gilt von Bernstein's röhrenförmigen Kohlen seiner Boston-Lampe. Es lässt sich das Resultat dieser Betrachtung so aussprechen, dass diejenige Form des Querschnittes die beste ist, welche dem Querschnitt den kleinsten Umfang giebt, und dies ist die runde Form.

Capitel VI.

Die Accumulatoren.

---

§ 63. Aeltere Accumulatoren.

Wir gehen zu der Besprechung des Glühlichtbetriebes vermittels sogenannter secundärer Elemente oder Accumulatoren über.

Unter „secundären Ketten“ verstehen wir solche, deren Polplatten auf Grund vorhergegangener, elektrolytischer Ausscheidung auf ihnen und dadurch hervorgebrachter Polarisation einen elektrischen Strom liefern. Derartige Polarisationserscheinungen und auf sie zurückzuführende, secundäre Ströme sind bereits seit eben derselben Zeit, wie die galvanischen Ketten selbst, bekannt.

Gautherot beobachtete sie zuerst (1801), als er zunächst durch eine Salzlösung einen elektrischen Strom zwischen Platin- oder Silberdräthen als Elektroden hindurchleitete und diese letzteren dann, nach Ausschaltung der Kette, rasch mit einem Galvanometer verband. Es zeigte sich alsdann ein in seiner Richtung umgekehrter Strom wie vorher, wo die primäre Kette eingeschaltet war. Ritter in Jena beobachtete das Gleiche bei Anwendung von Goldelektroden und construirte 1803 auf Grund dieser Erfahrungen die erste secundäre Batterie aus abwechselnd aufeinander geschichteten, einzelnen Gold- und Tuchplättchen, welche letzteren mit Salzwasser getränkt waren. Diese Batterie, welche Ritter als „secundäre“ bezeichnete, gab, wenn zuvor vom Strom einer Volta'schen Zink-Kupfersäule durchflossen, einen ziemlich kräftigen Strom umgekehrter Richtung. Auch untersuchte er andere Metalle an Stelle des Goldes und fand, dass Platin, Gold und Silber stärkere secundäre Ströme ergeben als Kupfer, Messing, Zinn und Zink.

Bei Anwendung von 50 Kupferplatten, welche von einander durch dazwischengelegte mit Kochsalz- oder Ammoniaksalzlösung durchtränkte Tuchscheibchen getrennt waren, erhielt er, nachdem ein Strom einer 100paarigen Volta'schen Säule hindurchgeleitet worden war, einen Strom, welcher Wasser zersetzte und alle Eigenschaften des primären Stroms selbst zeigte. Volta und Marianini erklärten diese Erscheinung als Folge der Ausscheidung der sauren und der basischen Bestandtheile der Salzlösung auf den Metallplättchen und hielten um so hartnäckiger an dieser Erklärung fest, als Becquerel beim Eintauchen einer Platinplatte in Säure und einer zweiten in Alkalilösung in der That Ströme erhielt, welche die gleiche Richtung zeigten, wie die bei Ritter's Säule beobachteten. Indess wies 1826 De la Rive nach, dass genau die gleichen Erscheinungen bei Platinplatten erhalten werden konnten, die beide in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht waren; und da nun hier von sauren und basischen Ausscheidungen auf den Elektroden offenbar nicht die Rede sein konnte, so sah er die Erscheinung als dadurch bedingt an, dass die Polplatten durch die Stromwirkung in einen vom vorherigen abweichenden resp. „polarisirten“ Zustand gebracht worden wären. Den Strom selbst bezeichnet de la Rive deshalb denn auch als „Polarisationsstrom“. Aehnliche Erscheinungen wie die eben erwähnten beobachtete ferner auch Faraday

1833—1834 an den Platinelektroden seines Voltameters, und bemerkte auch bereits, dass bei Bleisalzlösungen z. B. bei Anwendung von essigsaurem Blei an der einen Elektrode der bekannte Bleibaum, an der anderen Bleisuperoxyd elektrolytisch abgeschieden wird. Späterhin (1852) baute C. W. Siemens[1]) einen Accumulator aus Kohleplatten in Bleiacetatlösung, wobei als elektrolytisch sich ausscheidende Substanzen wieder — wie bei Faraday's zuletzt erwähnten Platinelektroden — an der negativen Elektrode metallisches Blei, an der +Elektrode Bleisuperoxyd erhalten wurde. Eine derartige Siemens'sche secundäre Zelle war im Stande angesäuertes Wasser zu zersetzen, und hatte eine elektromotorische Kraft von etwa 2 Volt. Indess scheinen sich diese Elemente nicht recht bewährt zu haben, so dass er die Versuche nicht weiter verfolgte.

§ 64. Planté'scher Accumulator.

Hierauf unternahm Gaston Planté eine sorgfältige Untersuchung betreffs des Einflusses des Metalls und der Flüssigkeit, die er zur Construction von secundären Elementen verwendete. Er constatirte, dass Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure am günstigsten wirkten. Indess bedurfte es noch vieler langwieriger Versuche, um die vortheilhafteste Art, die Bleiplatten zum Gebrauche vorzubereiten, zu ermitteln. Die beiden als Elektroden dienenden Bleiplatten, die von einander durch zwei 1 Centimeter breite und 0,5 cm dicke Kautschukbänder isolirt waren, rollte Planté (1860) auf einen Holzcylinder nach Art der Hare-schen Spiralen auf. Als Zersetzungsflüssigkeit diente eine 10procentige Schwefelsäure. Das fertige Element zeigt Fig. 48. Wurde das Element mit einer hinreichend starken, galvanischen Kette z. B. zwei Bunsen'schen Elementen verbunden, so schied sich an der mit dem +Pol verbundenen Bleiplatte der Sauerstoff aus und bildete, die Bleiplatte stark oxydirend, Bleisuperoxyd, während an der mit dem —Pol

Fig. 48.

[1]) Vergl. George F. Barker on secondary batteries. Proc. Amer. Assoc. for the Advancement of Science. XXXI p. 208 August 1882.

der Kette verbundenen Bleiplatte sich der zum grössten Theil gasförmig entweichende Wasserstoff entwickelte. Dementsprechend färbt sich die erstere Platte chocoladenbraun, während die letztere unverändert metallisches Blei auf ihrer Oberfläche zeigt und grau und körnig erscheint. Die primäre Kette braucht nur so lange mit der secundären verbunden zu sein, bis an der Anode (+Elektrode) sich reichliche Sauerstoffbläschen zu zeigen beginnen, welche das Anzeichen dafür sind, dass die Platte so weit mit diesem Gase gesättigt resp. von ihm corrodirt ist, als im betreffenden Falle überhaupt möglich ist. Verbindet man nun die Pole des so geladenen Planté'schen Accumulators durch einen Drath mit einander, so entsteht ein elektrischer Strom von ziemlich beträchtlicher Stärke und es spielt sich dabei genau der umgekehrte Zersetzungsprocess, als vorher beim Laden der Zelle, ab. Das sauerstoffreiche Bleisuperoxyd auf der einen Polplatte reducirt sich zu Bleioxyd, welches letztere mit der freien Schwefelsäure der Lösung Bleisulphat bildet, die Platte desoxydirt sich also durch Wasserstoffaufnahme und Sauerstoffabgabe, wirkt also wie der positive Pol eines galvanischen Elementes; während die negative Platte, sich oxydirend, Sauerstoff aufnimmt und also die Rolle des Zinks spielt und den negativen Pol des secundären Elementes bildet. Auch hier, an der —Bleiplatte, ist das Endproduct schwefelsaures Blei. Das Element hört auf, als solches zu fungiren, sobald die Oberflächenbeschaffenheit beider Bleielektroden die gleiche geworden ist. Sobald nun aber auf diese Weise das Element sich erschöpft hat, genügt ein erneutes Laden mittels einer Bunsen'schen Kette, um es sofort wieder zum Stromliefern geeignet zu machen. Indess ist ein derartiges Planté'sches secundäres Element nicht etwa gleich von vornherein im Stande, grosse Ladungen in sich aufzuspeichern, sondern dazu bedarf es einer monatelangen Vorbereitung oder „Formirung", wie Planté den Process nennt. So klar und einfach auch nach den soeben gegebenen Erörterungen die zu lösende Aufgabe — secundäre Elemente herzustellen — erscheint, so schwierig ist es, wirklich grosse Mengen Elektricität in ihnen aufzuspeichern.

Planté[1]) giebt für die Construction der Zellen folgende Vorschriften an. Auf die spiralförmig isolirt über einander aufge-

[1]) G. Planté, Recherches sur l'électricité, Paris 1879; El. Z. II p. 56, 1881.

wickelten Bleiplatten werden oben und unten, um den Ganzen mehr Festigkeit zu geben, kreuzweise zwei warm gemachte Guttaperchastäbe gepresst, so dass die Windungen hierdurch an ihrem Orte fixirt werden. Das Gefäss, mit 10% schwefelsäurehaltigem Wasser gefüllt, ist mit einer Hartgummiplatte bedeckt, durch welche die Poldräthe der secundären Kette hindurchgehen (Fig. 48). Zum Laden hat eine Batterie von ungefähr 2 Bunsen elektromotorischer Kraft pro Accumulator zu dienen. Selbstverständlich kann man auch den von elektrodynamischen Maschinen gelieferten Strom zur Ladung benutzen, indess darf der primäre Strom nicht gar zu stark sein, da sonst das Bleisuperoxyd leicht wieder in Bleioxyd und Sauerstoff zerfällt. Ist das secundäre Element neu, so erscheint bald nach Anlegung der primären Kette (wir nehmen an wir hätten nur 1 secundäres Element und 2 Bunsen'sche Elemente zu dessen Ladung) an der +Elektrode Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff. Der secundäre Strom hat zwar gleich eine grosse Intensität aber eine geringe Dauer, da die gebildete Schicht Bleisuperoxyd nur noch sehr dünn ist und sehr rasch, nachdem die secundäre Kette geschlossen ist, reducirt wird. Ladet man nun ein zweites Mal, so findet der Ladungsstrom die Platten bereits etwas verändert vor; die negative Platte hat sich durch die Wirkung des Entladungsstromes oxydirt und nimmt nun den Wasserstoff auf, indem sie sich reducirt; während die + Platte jetzt mit einer Schicht reducirten Bleies bedeckt ist und den sich an ihr ausscheidenden Sauerstoff nun schon besser aufnimmt. In Folge dessen wird jetzt der Entladungsstrom schon von etwas grösserer Dauer sein, und diese letztere wird durch erneutes Laden und Entladen mehr und mehr gesteigert. Dabei ist es, wie Planté angiebt, von Vortheil, den Sinn der Ladung zu wechseln und so die vorher +Platte nun zur negativen zu machen und umgehrt. Auch soll es vortheilhaft sein, die Entladung des secundären Elementes nicht sofort vorzunehmen, sondern es einige Zeit geladen stehen zu lassen, wodurch dem Metall Zeit gelassen wird, einen krystallinischen Charakter anzunehmen, welcher es für die Aufnahme weiterer Ladung geeigneter machen soll. Demgemäss verfährt man nach Planté folgendermaassen: Man lässt am ersten Tage 6—8 Mal den Strom von 2 Bunsen'schen Elementen durch das secundäre Element in abwechselnder Richtung hindurchgehen. Zugleich lasse man die Zeit-

dauer der Ladung wachsen von 1/4 Stunde bis zu einer ganzen. Nach jeder Ladung entlade man das Element, wobei man — etwa mit Hülfe eines glühenden Platindrathes — erkennen wird, dass die Dauer der Entladung zunimmt. Schliesslich lasse man das Element in einem bestimmten Sinne bis zum nächsten Tage geladen stehn.

Am folgenden Tage lade man das Element 2 Stunden in einem der letzten Ladung entgegengesetzten Sinne, lade es dann wieder im ersteren Sinne und so fort. Hierauf folge eine Ruhepause von 8 Tagen, worauf das Element wieder einige Stunden lang geladen wird, ohne es aber wieder an demselben Tage zu entladen. Man steigere die Ruhezeit allmälig auf 14 Tage, 1 Monat, 2 Monate u. s. f. Dadurch soll die Dauer der Entladung sich fortdauernd vergrössern. Die Grenze für die Dauer des secundären Stromes, glaubt Planté, sei nur durch die Dicke der Bleiplatten bedingt, indess solle die Vorbereitung des Elementes nicht weiter ausgedehnt werden, als für den Zweck, zu dem das Element dienen soll, nöthig erscheint, weil durch die Oxydation der positiven Platte der Widerstand wächst und so die Zeitdauer für die Ladung zunehme. Ist das secundäre Element einmal vorbereitet, so ist es nicht mehr angezeigt, den Sinn der Ladung beim Gebrauch jedesmal zu wechseln, weil sonst bei der Ladung unnütz Zeit damit verschwendet werden würde, das noch vorhandene Bleisuperoxyd zu reduciren. Man behalte also schliesslich stets die eine Platte als +, die andere als negativen Pol bei.

Um das Element gut zu erhalten, soll man es nach der gehörigen Vorbereitung nicht Monate lang ungebraucht stehen lassen, weil das Superoxyd die Neigung hat, in Oxyd überzugehen, welches viel schlechter leitet. Planté empfiehlt daher, das Element von Zeit zu Zeit neu zu laden oder es durch eine kleine Kette stehend geladen zu halten. Bei einem gehörig vorbereiteten Elemente bemerkt man in der ersten Zeit der Ladung keine Gasentwicklung; beginnt die Gasentwicklung, so ist dies ein Zeichen dafür, dass die Ladung beendet ist.

Die Dauer der Entladung hängt, unter sonst gleichen Verhältnissen, selbstverständlich von der Grösse des eingeschalteten Widerstandes ab. Die elektromotorische Kraft des Planté'schen Accumulators sofort nach der Ladung ist 1,4—1,5 Bunsen, später 1,17 Bunsen.

Im ersten Moment der Entladung ist dementsprechend der secundäre Strom ungemein stark, aber seine Heftigkeit ist nicht von langer Dauer, da sie nach Planté's Meinung von der Polarisation durch die entwickelten Gase herrührt. Alsdann folgt der von der Veränderung der Bleiplatten herrührende Strom, welcher recht constant andauert und ziemlich plötzlich, nachdem die Kraft verbraucht ist, nachlässt. Der erstere, stärkere Strom tritt jedoch nicht auf, wenn man das Element einige Zeit nach der Ladung, ohne es zu entladen, stehen lässt, da dann die Gaspolarisation von selbst verschwindet. Gladstone und Tribe[2]) erklären dies, abweichend von Planté's Ansicht, durch Bildung von Wasserstoffsuperoxyd an den Platten in Folge des Ladungsstromes. In der That erklärt dies vollkommen sowohl die ursprünglich hohe elektromotorische Kraft des Accumulators kurz nach dessen Ladung, als auch das Heruntergehen derselben in Folge der bekanntlich freiwillig eintretenden Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds.

Dagegen verschwindet die von der chemischen Veränderung der Bleiplatten herrührende Wirkung erst langsam, sie hält sich 2—3, ja auch 4 Wochen bei besonders gut vorbereiteten Elementen. Dieser allmälige Niedergang der Ladung rührt offenbar in diesem Falle von lokalen Strömen an der positiven Platte zwischen dem gebildeten Bleisuperoxyd und dem darunterliegenden Blei her, wodurch das erstere reducirt wird.

Wie aus dem Vorhergehenden erhellt, ist der Process der Herstellung Planté'scher Accumulatoren äusserst umständlich. Der Zweck, den diese langwierige, 3 Monate Arbeit erfordernde Vorbereitung verfolgt, kann nichts anderes sein, als durch die häufig sich wiederholenden Ladungen und Entladungen die Oberflächen der Bleiplatten im Verhältniss zu ihrer anfänglichen Grösse ganz ausserordentlich zu vergrössern. Die Wirksamkeit der Elemente ist offenbar allein durch die Menge des auf der +Polplatte ausgeschiedenen Bleisuperoxyds bedingt und deshalb empfiehlt es sich, eine möglichst grosse, poröse, schwammige Oberfläche, die jedoch fest auf ihrer Bleiunterlage haften muss, herzustellen. Wie dieses Vergrössern der Oberfläche, ob durch mechanische, chemische oder

---

[2]) Gladstone u. Tribe, the chemistry of the secondary batteries of Planté and Faure, London 1883.

galvanische Mittel, erreicht wird, ist im Grunde gleichgültig; es handelt sich eben nur darum, dies so zu erreichen, dass ein möglichst festes Anhaften des gebildeten Superoxyds auf der positiven Bleiplatte dadurch garantirt wird.

§ 65. Faure's Accumulator.

Die lange und deshalb kostspielige Herstellung der Planté-schen Accumulatorenplatten hat Faure 1880 dadurch zu umgehen gewusst, dass er jede der gleichfalls in verdünnte Schwefelsäure einzutauchenden Bleiplatten mit einer dicken Lage Mennige bestrich. Mennige ist bekanntlich bleisaures Bleioxyd, bildet also die zwischen der höchsten, sauerstoffreichsten Oxydationsstufe (dem Bleisuperoxyd oder Bleisäure PbO_2) und der nächst niedrigeren (dem Bleioxyd PbO) stehende Zwischen-Oxydationsstufe des Bleis. Durch höhere Oxydation wird sie in Bleisuperoxyd, hingegen durch Reduction in Bleioxyd oder in Bleisuboxyd oder schliesslich in metallisches Blei verwandelt. Da sie die Elektricität ziemlich gut leitet, so bekleiden sich daher die mit Mennige bestrichenen Bleiplatten im Faure'schen Accumulator beim Laden derselben durch eine primäre Kette sehr rasch mit Bleisuperoxyd auf der +, mit metallischem, sehr fein vertheilten Blei auf der negativen Platte. Das Endproduct ist also genau das gleiche, wie beim geladenen Planté'schen Element, der Unterschied beruht nur darin, dass ersteres sofort nach dem Zusammensetzen und nach dem ersten Laden bereits in die Verfassung kommt, in welche letzteres erst in Folge Monate lang andauernder Behandlung gebracht wird. Es ist klar, dass somit der Faure'sche Accumulator dem Planté'schen ganz ausserordentlich weit würde überlegen sein, falls er demselben beim Gebrauch sich vollkommen ebenbürtig erweisen würde. Indess ist dies, wie besonders aus Prof. George F. Barker's[1]) Versuchen hervorgeht, leider nicht der Fall.

Hierdurch erklärt es sich, dass, so gross auch der ursprüngliche Enthusiasmus war, welchen die elektrotechnische Welt der Bekanntmachung der Faure'schen secundären Batterien entgegenbrachte, doch die betreffs der vielseitigen Verwendbarkeit der Faure'schen

[1]) Proc. Amer. Assoc. for the Advancement of Science XXXI p. 216—217, August 1882.

Accumulatoren gehegten Hoffnungen zum weitaus grössten Theile nicht in Erfüllung haben gehen können. Faure lässt die Accumulatoren je nach dem vorliegenden Zweck in 2 verschiedenen Weisen arbeiten. Die für Beleuchtungszwecke von Schiffen, Eisenbahncoupés etc. von Faure angefertigten secundären Elemente, deren Grösse je nach der Zahl der zu speisenden Glühlampen variirt, haben im Allgemeinen folgende Construction: „Type *A*", besteht aus 7 positiven, unter einander zu verbindenden Platten (je 37 × 23,5 cm gross, 3 mm dick) mit je 10 mm von einander abstehenden 6 mm grossen, runden Löchern, und aus 6 ebensolchen, gleichfalls mit einander verbundenen, aber nur 0,5 mm dicken, abwechselnd gesetzten negativen Bleiplatten. Das Gewicht der 7 positiven Platten beträgt 16,7 Kilo, das der negativen 2,8 K. Die aufgestrichene Mennige wiegt 22,1 Kilo. Die Aussenseite der beiden letzten Platten wird nicht mit Mennige bestrichen, sodass demnach im Ganzen 24 wirksame Flächen vorhanden sind. An jede der Platten ist ein 7 cm breiter Zuleitungsstreifen angesetzt. Der zugehörige verpichte Trog ist 45 × 20 × 40 cm gross und wiegt nebst Deckel 10 Kilogramm, die zum Gebrauch und Laden fertig zusammengestellte Batterie 63 Kilo.

Type *C* enthält 5 positive Platten (24 × 19 cm gross, 3 mm dick) und 4 negative 0,5 mm dicke Platten. Lochgrösse und Abstand 5 mm. Gewicht der positiven Platten 7,1 Kilo, das der negativen 0,9 Kilo, Gewicht der auf die 16 zur Wirkung kommenden Oberflächen aufgestrichene Mennige = 8,3 Kilo. Gesammtgewicht der fertig zusammengestellten Batterie 20,4 Kilo.

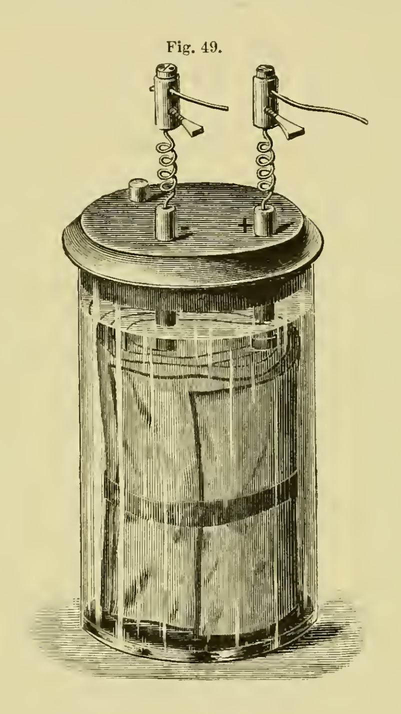
Jede Zelle der Type *A* vermag, nach Faure's Behauptung, nach voller Ladung 375 Ampère-Stunden Strom zu liefern und hat eine elektromotorische Kraft von 2 Volt pro Zelle. Demgemäss müsste sie beispielsweise, einen Strom von 25 Ampère 15 Stunden hindurch zu liefern, im Stande sein.

Type *C* enthält 150 Ampère-Stunden.

Der zweiten Art Faure'scher Accumulatoren gehören die Typen *B* und *D* an, dieselben haben nach Art der Planté'schen Accumulatoren spiralförmig aufgewickelte Bleiplatten und an Stelle der parallelepipedischen bei Type *A* und *C* zur Verwendung kommenden Tröge cylindrische Gefässe aus Glas oder Steingut. Fig. 49 giebt die Abbildung dieser letzteren Art Faure'scher Elemente. Die

grösste Sorte wiegt je 35 K. und soll 225 Ampère-Stunden enthalten, die kleinere Sorte nur deren 75 und wiegt 8 K. Bei der Herstellung der Faure'schen Elemente wird die Mennige mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt, auf die Bleiplatten aufgestrichen und, um sie vor dem leichten Herunterfallen zu schützen, mit einem Streifen Pergamentpapier bedeckt und darauf noch ein Filzstreifen aufgelegt. Hierdurch wird aber gleichzeitig das leichte Hinzutreten der Schwefelsäure zu den Platten wesentlich erschwert, was ohne

Fig. 49.



Zweifel nicht vortheilhaft sein kann, und es haben aus diesem Grunde Sellon & Volckmar den Faure'schen Accumulator dadurch zu verbessern gesucht, dass sie die Bleiplatten ohne Pergament und Filzbedeckung zur Verwendung bringen und die Mennige resp. das für die negativen Platten verwendete Bleisuboxyd nur in die Löcher der zu diesem Zwecke netz- oder gitterförmig gegossenen Bleiplatten einstreichen. Die Oberfläche der letzteren machen sie ausserdem noch durch ein Sandblasverfahren rauh und porös. Die Löcher der Platten sind 1 cm im Quadrat, die Bleigitterstreifen etwa 3 mm

dick, der Abstand der einzelnen Platten von einander beträgt etwa 6 bis 7 mm. Ein wesentlicher Vortheil scheint indess mit dieser Abänderung der Faure'schen Batterie nicht verknüpft zu sein, und ebensowenig Erfolg haben die unglaublich zahlreichen, anderen, mehr oder weniger originellen, bei uns in Europa patentirten Verbesserungen Faure'scher Accumulatoren gehabt.

Warum diese Versuche, wirklich brauchbare Accumulatoren zu construiren, sämmtlich bisher zu nur sehr unbefriedigenden Resultaten geführt haben und vermuthlich immer werden führen müssen, werden wir weiter unten zu betrachten haben; wir wollen hier nur noch bemerken, dass bei neuen Accumulatoren der Nutzeffect d. h. die bei der Entladung im äusseren Stromkreise zurückerhaltene Arbeitsmenge immerhin ziemlich hoch ist und verschiedentlich zu 80% angegeben wird; indess ist er nach den Versuchen der wissenschaftlichen Commission[2]) der Pariser elektrischen Ausstellung bei der damals untersuchten Faure'schen Batterie nicht höher als 60% der in den Accumulatoren aufgespeicherten, und 40% der ganzen d. h. zum Laden der secundären Elemente verwendeten mechanischen Arbeit gewesen. Dieses würde pro Kilogramm Gewicht der Batterie etwa 0,071 Kilogr.-Meter in der Secunde an Arbeit entsprechen, ein Resultat, welches sowohl mit den marktschreierischen Angaben französischer Actiengesellschaften wie auch mit Reynier's Behauptungen, denen zufolge auf jedes Kilogramm Gewicht der Batterie 0,55 Kilogr.-Meter Arbeit pro Secunde kommen sollten, in unvereinbarem Widerspruche steht.

§ 66. Accumulator von Brush.

Während das Streben der meisten Elektriker, welche sich mit der Construction von Accumulatoren befassten, dahin ging, den von Faure vorgezeichneten Weg weiter zu verfolgen, und sie durchgängig mit Mennige belegte Bleiplatten verwenden, so hat Ch. F. Brush in Cleveland (Ohio) im Gegentheil sich daran gemacht, die Planté'sche secundäre Batterie zu verbessern.

Die Platten, welche er zu seinem Accumulator anwendet, sind rechteckig resp. quadratisch. In der Regel schaltet er 20—22 ein-

---

[2]) Vergl. El. Z. III p. 149, 1882.

zelne Elemente (elektromotorische Kraft etwa 2 Volt) hintereinander zu einer Batterie zusammen und erhält so ungefähr die Potentialdifferenz 38 Volt, für welche die ihm zu seinen Glühlicht-Anlagen dienenden Swan-Lampen (Fig. 47, p. 160) bestimmt sind. Eine jede derartige Accumulatoren-Batterie ist in einen Holzkasten, der je nach Bedarf in 4, 3 oder 2 Abtheilungen durch Zwischenwände abgetheilt ist, eingesetzt. Die letzteren enthalten parallelepipedische Kästen aus Blei, deren Platten einfach mit Zinnloth zusammengelöthet sind, was zulässig ist, da diese Bleikästen einen Theil der negativen Accumulatorplatten selbst bilden und sich somit an ihnen nur Wasserstoff ausscheidet resp. in Folge elektrolytischer Wirkung höchstens etwas metallisches Blei an ihnen aus der Flüssigkeit niedergeschlagen werden kann. In die erwähnten Kästen werden nun zunächst die beiden mit einander zu verbindenden, negativen Bleiplatten eingesetzt[1]). Sie werden durch Giessen in eigenthümlich gestalteten, eisernen Formen hergestellt und gewähren den Anblick, als seien sie dadurch erhalten, dass man auf eine grosse etwa 3 mm dicke rechtwinklige Bleiplatte lauter einzelne lange, etwa 1 mm dicke und 10 mm breite Bleiblechstreifen im Abstand von 1 mm von einander hochkant aufgelöthet habe. Die als negative Platten dienenden tragen die erwähnte Riefelung nur auf einer Seite, während die zwischen beide zwischenzusetzenden, als +Pol dienenden Bleiplatten die Riefelung beiderseitig haben und demgemäss auch doppelt so dick erscheinen als die negativen. Letztere werden durch eingelegte Holzstückchen von ersteren isolirt gehalten. Die gesammten zu einer Batterie gehörenden Tröge sind in einem gemeinsamen, durch einen Deckel verschliessbaren, je nach der Grösse der Batterie 2 bis $2^1/_2$ m langen Holzkasten eingesetzt. Nachstehende Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Preis- und Grössenverhältnisse, der Zahl zu speisender Swan-Lampen, etc. für die verschiedenen Sorten Brush-Accumulatoren (s. Tab. S. 181).

Die Anzahl der zum Betriebe von Glühlampen erforderten secundären Elemente hängt von der Anzahl Volt ab, welche die betreffende Lampensorte erfordert, so würden z. B. etwa 20—22 Zellen nothwendig sein, wenn man sog. 38-Volt Lampen benutzen wollte, und etwa 25 Zellen zum Betriebe von 45-Volt Lampen ausreichen.

---

[1]) Bei der zweitgrössten Sorte No. III 20 cm breit und 40 cm hoch.

Batterie-Grösse No.	Preis pro Zelle M.	Anzahl von Swan-Lampen [2] (à 38 Volt) treibbar durch 20—22 Zellen	erforderlicher Raum für 22 Zellen			Grösse der Bleiplatten in jeder Zelle (in cm)
			Länge m	Breite cm	Höhe cm	
I	18	5	2	23	25	2 Platten à 20 × 20
II	30	10	2	23	46	2 „ „ 20 × 40
III	48	20	2,50	23	46	3 „ „ 20 × 40
IV	86	40 [3]	2,50	46	46	3 „ „ 40 × 40
			Jede Zelle mehr vergrössert die Länge um 10—13 cm			

Wollte man Edison-Lampen verwenden, so würde mindestens die doppelte Anzahl Accumulatoren erforderlich sein. Das Gewicht dieser Batterien ist sehr hoch. Ein einzelnes secundäres Element No. III wiegt 36 K., eine Batterie von 22 solchen Zellen etwa 800 K. Als Füllung der Elemente dient 10-procentige verdünnte Schwefelsäure. Analog den Planté'schen Ketten bedürfen auch die von Brush construirten einer gewissen Zeit der Präparirung durch den elektrischen Strom, indess behauptet Brush hierzu in Folge einer von ihm als Fabrikationsgeheimniss bewahrten Verfahrungsart nur weniger Stunden oder Tage zu bedürfen, um den gleichen Erfolg zu erzielen, welchen Planté erst durch ein Monate lang fortgesetztes „Formiren“ erreicht. Es ist wohl möglich, dass das von Brush angewendete Erhitzen der Accumulatoren während der Präparirung hierbei von wesentlichem Nutzen ist.

Prof. Ch. R. Cross in Boston hat eine Reihe von Untersuchungen mit den eben besprochenen Brush-Accumulatoren angestellt und spricht sich sehr günstig über sie aus, giebt unter Anderem an, dass der Nutzeffect 80% der hineingeladenen Strommenge betrage, eine Angabe, welche jedoch nur auf sofortige Entladung des eben geladenen Accumulators Bezug hat.

Das Laden sowohl wie Entladen geschieht bei ganz unveränderter Zusammenstellung der Batterie, ersteres durch eine gewöhnliche, sonst für Bogenlicht-Betrieb benutzte Brush-Dynamomaschine bei einer Stromstärke von 8 bis 10 Ampère. Es möge hervorgehoben werden, dass es keinerlei erhebliche Schwierigkeit hat, die secundären Batterien von einem und demselben Strome, der gleichzeitig

---

[2]) Widerstand (heiss) 38 Ohm, erforderte Stromstärke 1 bis 1¼ Ampère.

[3]) Ein 4stündiges Brennen der ganzen Lampenzahl vorausgesetzt.

zum Betriebe einer Anzahl Bogenlicht-Lampen verwendet wird, aus zu laden; man wird eben der Potentialdifferenz entsprechend an Stelle einer jeden Bogenlicht-Lampe eine zu ladende Accumulatoren-Batterie von etwa 20 bis 22 Zellen in den Stromkreis der Dynamomaschine einschalten dürfen.

Bei den oben erwähnten Versuchen von Prof. Cross z. B., lud er seine zum Betriebe von zwanzig Swan-Lampen (à 38 Volt) bestimmte Batterie, bestehend aus 21 No. III Brush-Accumulatoren, stets mit Hülfe einer Bogenlicht-Maschine, die für gewöhnlich für 2 Bogenlichter diente, so dass sich in diesem Falle ausser der Batterie stets noch eine Bogenlichtlampe in den Stromkreis eingeschaltet befand. Zum vollen Laden der Batterie war es erforderlich, einen Strom von 8 Ampère Stärke 12 Stunden durch die Batterie hindurchzuleiten, dies ergiebt also 96 Ampère-Stunden, wenn wir die Menge Elektricität, welche ein Strom von 1 Ampère während einer Stunde fortbewegt, als 1 Ampère-Stunde bezeichnen.

§ 67. Die Brush-Swan Companie in New York.

Als zuerst Accumulatoren gebaut wurden, glaubte alle Welt auf Grund der über sie veröffentlichten, höchst vortheilhaft erscheinenden Nachrichten an eine sehr grosse Zukunft derselben. Man hob besonders hervor, es sei nun möglich geworden, die Elektricität aufzuspeichern, genau oder ähnlich so, wie das mit Gas in den Gasometern geschehe, und man könne nun in kleinem Volumen ungemein grosse Mengen elektrischer Energie aufsammeln und verschicken. Wir erinnern uns noch an das Aufsehen, welches die Zeitungsnachricht erregte, in der es hiess, es sei eine Million Fusspfund in einem Faure'schen secundären Element aufgespeichert in einem kleinen Reisesack von Paris nach England zu Sir William Thomson gebracht worden. So gross uns nun auch im Allgemeinen die Zahl 1 Million erscheint, so gering ist doch in Wirklichkeit die Arbeit, die wir mit der in jenem Accumulator enthaltenen, elektrischen Energie leisten können, und dementsprechend gering auch ihr Geldwerth[1]).

---

[1]) Nach J. E. H. Gordon's Berechnung (a practical treatise on electric lighting pag. 190, London 1884) höchstens 21 Pfennig werth.

Daraus und aus dem unverhältnissmässig grossen Gewicht der secundären Batterien bei verhältnissmässig geringer, in ihnen aufgespeicherter, nutzbarer elektrischer Energie folgt dann z. B. auch die Unausführbarkeit des Gedankens, mit Hülfe von Accumulatoren Pferdebahnwagen oder Schiffe fortzubewegen; an der physikalischen Möglichkeit seiner Durchführbarkeit konnte keinen Augenblick Zweifel erhoben werden, nur die Kostenfrage darf nicht als eines der entscheidenden Momente dann mit in Rücksicht gezogen werden. Und ebensowenig darf aus demselben Grunde daran gedacht werden, etwa an einer Centralstelle die Accumulatoren zu laden und sie von hier aus an die Stellen, wo Elektricität gerade gebraucht wird, zu versenden.

Also auch diese schöne, an die secundären Ketten anfänglich geknüpfte Hoffnung erwies sich als trügerisch, und das Gebiet, innerhalb dessen die zuvor so viel gepriesenen Accumulatoren praktische, commerciell zu billigende Verwendung finden konnten, schrumpfte mehr und mehr zusammen! Indess blieb doch noch immer ein hinreichend weites Feld der Anwendbarkeit offen, einerseits als Stromquelle, andererseits als Hülfsapparate (Stromregulatoren) bei Beleuchtungsanlagen.

Die erstere dieser beiden Anwendungen der Accumulatoren praktisch auszuführen und auszunutzen, hat sich die Brush-Swan Co. in New York zur Aufgabe gemacht. Die Gesellschaft beabsichtigt zu dem Zwecke, eine je nach dem Bedarf an Licht passende Anzahl von Accumulatoren in jedes Wohnhaus zu stellen, dieselben den Tag über vermittels der sonst nur des Abends gebrauchten, zum elektrischen Bogenlichtbetrieb bestimmten Dynamomaschinen zu laden und auf diese Weise die letzteren und die sie treibenden Dampfmaschinen oder sonstigen Motoren auszunutzen zu einer Zeit, in welcher sie sonst — dem beschränkten Bedarf an künstlichem Licht entsprechend — ein todtes, sich nicht verzinsendes Capital bilden.

Dies würde gleichzeitig den Vortheil mit sich bringen, dass man nun viel kleinere elektrische sowohl wie Dampf-Maschinen zum Laden der Accumulatoren wird benutzen und das Anlagecapital für jene in sehr erheblicher Weise wird reduciren können, im Vergleich zu dem Falle, wo die zu speisenden Glühlampen sämmtlich direct von der Dynamomaschine aus — wie bei Edison's,

Maxim's etc. Anlagen — betrieben werden. Die Zeit in welcher künstliche Beleuchtung erfordert wird, beschränkt sich eben in Wohnhäusern, und diese gerade bilden doch offenbar das Hauptfeld für die Anwendung elektrischer Glühlicht-Lampen, auf eine nur geringe Zahl von Stunden pro Tag, im Durchschnitt auf nicht mehr als 4 bis 6, sodass demnach bei directem Betriebe der Lampen mittels der Dynamomaschine diese letztere 20 Stunden hindurch unbenutzt bleiben und nur eben jene 4—6 Stunden lang verwendet werden würde. Gleichzeitig müssten dann die zur Anwendung kommenden Maschinen hinreichend grosse Dimensionen haben, um die ganze Zahl der Lampen auf einmal während dieser kurzen Zeit des Tages gleichzeitig zu betreiben, was sowohl in Folge der Verzinsung des dann sehr erheblichen Anlagecapitals wie auch in Folge der Wärmeverluste beim Anheizen nothwendig mit grossen Kosten verbunden sein muss. Nimmt man hingegen zu Accumulatoren seine Zuflucht, so wird es möglich sein, mit um ebenso viel mal kleineren und weniger kostbaren Maschinenanlagen die gleiche, gewünschte Zahl Glühlampen zu speisen, als nun die zum Laden der secundären Batterieen aufwendbare Zeit grösser ist, als die Brenndauer der Lampen. Diese Ueberlegung wäre vollkommen zutreffend, falls nicht das zur Anschaffung der Accumulatoren erforderliche Capital und dessen Amortisirung hier noch sehr wesentlich in Betracht zu kommen hätte, und wenn nicht die eben hieraus erwachsenden Kosten die erstrebten Ersparnisse weitaus übertreffen würden.

Was die Anordnung und den Gebrauch der zum Brush-Swan-Glühlicht-System dienenden Apparate[2]) anlangt, so hat die Accumulatoren-Batterie im Keller oder an einem sonst etwa passenden, der Strassenfront nahe gelegenen Orte Aufstellung zu erhalten, so dass von dem zur Bogenlichtbeleuchtung der Strasse dienenden Stromkreise aus Zuleitungen bequem in das betreffende Haus zu der Batterie gelegt werden können. Als Vermittlungs- oder Hülfsapparat dient dabei ein sog. Manipulator, dessen Zweck darin besteht, die Batterie sofort selbstthätig in den Ladungsstrom einzuschalten, sobald sie eine gewisse Menge Strom etwa zu Beleuchtungszwecken

---

[2]) Die Swan Co. garantirt eine Lebensdauer von 2000 Brennstunden für ihre Lampen.

wieder ausgegeben hat, und sie gleichfalls automatisch auszuschalten, sobald sie wieder voll geladen ist. Da ferner der zu dem gewöhnlichen Brush'-Bogenlicht-Betriebe verwendete Strom stets 10 Ampère beträgt, und dieses somit auch die Intensität des die Accumulator-Batterie ladenden Stromes ist, so wird es offenbar genügen, nur die Zeit zu notiren[3]), während welcher die Batterie innerhalb eines gewissen Zeitraumes geladen wird, um danach dann die Menge des an den Abnehmer gelieferten resp. von ihm zum Treiben seiner Glühlampen verwendeten Stromes berechnen und dementsprechend den von ihm zu zahlenden Betrag ermitteln zu können. Zu dem Zwecke löst der automatisch die Batterie in den Ladungsstrom ein- resp. aus ihm ausschaltende Contact gleichzeitig das Echappement einer gewöhnlichen Uhr aus resp. arretirt sie, so dass diese so in einfachster Weise die Ladungszeit zählt. Es möge hier genügen das Princip des Zählapparates erwähnt zu haben, ohne näher auf seine Construction einzugehen, die sich übrigens, wie Brush's sämmtliche Apparate, durch grosse Einfachheit und zweckmässige, sinnreiche Verwirklichung des zu Grunde liegenden Gedankens auszeichnet.

§ 68. Vortheile und Nachtheile der Benutzung der Accumulatoren.

Einer der wesentlichsten Vortheile, den die Benutzung von Accumulatoren mit sich bringen kann, besteht offenbar darin, dass die elektrischen Ströme als solche von hoher Spannung von der Central-Station aus geliefert und, vermittels der Accumulatoren, in Ströme von niederer Spannung umgesetzt, zum Gebrauch kommen. Dieses ermöglicht eben, dass für die hochgespannten, von der Station herkommenden und zu den Accumulator-Batterieen hingehenden Ströme als Zuleitungen nur die gewöhnlichen dünnen (5 bis 6 mm dicken) Kupferdräthe benutzt werden und die äusserst kostspieligen, dicken Kupferkabel, welche z. B. Edison bei seinen Central-Anlagen nöthig hat, in Fortfall kommen können. Dynamomaschinen von niedriger Spannung können ausserdem bei einigermaassen ausgedehntem Leitungsnetz nicht annähernd so ökonomisch arbeiten als solche von hoher Spannung; es liegen hier offenbar

---

[3]) Ist nicht genau.

ähnliche Verhältnisse vor, wie bei Dampfanlagen mit hoher und niedriger Spannung. Ferner ist auch der Nutzeffect einer Dynamomaschine, wie wir früher[1]) gesehen haben, sehr wesentlich bedingt durch die Zahl der von ihr bei directem Betriebe gespeisten Glühlampen; kommen etwa z. B. bei einer gewissen Lichtanlage und einer gegebenen Maschine

	10	Pferdekräfte	auf 60	Glühlampen
so kommen mehr als	5	„	„ 30	„
und erheblich mehr als	2	„	„ 12	„

und es ist überall da, wo eine Maschine nicht das Maximum der überhaupt möglichen Lampenzahl treibt, stets ein unökonomischer Betrieb die Folge: Je kleiner die Lampenzahl, um so grösser die von einer jeden derselben zum Betriebe erforderte Kraft.

Zu diesen Vortheilen gesellt sich ferner der, dass die Benutzung von Accumulatoren bei Glühlichtanlagen einen vollkommen gleichmässig verlaufenden, eine lange Lebensdauer der Lampen sichernden Strom erhalten lässt, der naturgemäss auch ein völlig gleichmässiges Licht liefert, eine Eigenschaft, welche die Glühlampen bei directem Betriebe mittels einer Dynamomaschine nur dann haben, wenn die sie treibende Kraftmaschine eine absolut constante Umlaufsgeschwindigkeit besitzt, während es bei Anwendung von Accumulatoren hingegen möglich ist, ohne irgend welchen Nachtheil für das zu erhaltende Licht Maschinen von ganz beliebig unregelmässigem Gange zu benutzen. Dieser Vortheil zeigt sich um so mehr da, wo die Dynamomaschinen nicht direct mit den sie treibenden Dampfmaschinen verbunden sind, sondern, wie das ja gewöhnlich der Fall ist, durch Riemenbetrieb in Gang erhalten werden, und wo dann in Folge etwaigen Ablaufens des Riemens sofort sämmtliche brennenden Glühlampen verlöschen. Man hat daher mit Vortheil auch auf Eisenbahnzügen von Accumulatoren Gebrauch machen können; so lange der Zug im Gange ist, wird durch Uebertragung der Radbewegung auf eine gewöhnlich im Packwagen aufgestellte Dynamomaschine durch diese der zum Erregen der in den Wagen des Eisenbahnzuges befindlichen Glühlampen erforderliche elektrische Strom direct geliefert. Gleichzeitig aber wird durch eben diesen von der Dynamomaschine erzeugten Strom eine Accumulatoren-

---

[1]) Vgl. p. 151 Mr. J. Hornig's Versuche.

Batterie kleinerer Sorte fortdauernd geladen erhalten, so zwar, dass während der Aufenthaltszeit an Stationen die Glühlampen des Zuges nun durch letztere allein mit der nöthigen Strommenge versehen werden.

Auch zum Erreichen von Theatereffecten können die secundären Batterieen sehr zweckmässig verwendet werden. So wurden z. B. in einem erst unlängst über eine grosse Reihe von Bühnen gegangenen Ausstattungsstück die im Haar der Tänzerinnen verborgenen oder in deren Kranz eingeflochtenen winzig kleinen Glühlämpchen durch Accumulatoren zum Leuchten gebracht. Es trug dabei jede Tänzerin einen kleinen Accumulator ($10 \times 15 \times 8$ cm) mit einem Haken am Gürtel befestigt und vom Röckchen oder der Taillenschleife verdeckt, und durch Drücken an einem Contact konnte je nach Belieben dann der Strom geschlossen oder unterbrochen werden. Aber auch abgesehen von derartigen, übrigens auch mit anderen Mitteln erreichbaren Effecten, würde die Benutzung der Accumulatoren hier bei Theatern auch noch in anderer Beziehung zu empfehlen sein, und trotz höherer Kosten den Vorzug verdienen schon allein wegen der fast vollkommenen Zuverlässigkeit des Betriebes einer solchen Lichtanlage, bei welcher eben ein plötzliches, unvorherzusehendes Verlöschen aller Glühlampen etwa in Folge des Ablaufens des Treibriemens oder des Brechens der Welle der Maschine etc., völlig ausgeschlossen erscheint.

Demgegenüber aber müssen eine Anzahl Nachtheile, die unweigerlich die Benutzung der Accumulatoren mit sich führt, gleichfalls hervorgehoben werden. Der nächstliegende ist das grosse Gewicht bei verhältnissmässig geringer Aufspeicherungsfähigkeit elektrischer Energie, ferner der stete Verlust an Ladung und der dadurch bedingte geringe Nutzeffect (60% der aufgespeicherten, 40% der gesammten zum Laden verwendeten Energie) sowie die Kostbarkeit der Accumulatoren sowohl bezüglich der Anschaffung wie der Betriebskosten. — Gegen das Brush-Accumulatoren-System sprechen dann ferner noch sehr gewichtige Gründe, hauptsächlich die grosse, nicht zu unterschätzende Gefahr, welche damit verknüpft ist, dass man Dräthe von der Bogenlichtleitung aus direct ins Haus und zur Batterie leitet. Ein Berühren dieser Dräthe mit der Hand würde bei den hochgespannten, beim Bogenlichtsystem von Brush zur Verwendung kommenden Strömen

direct lebensgefährlich sein. Da Brush oft an 40 und mehr Bogenlichtlampen hinter einander in einen einzigen Stromkreis bis zu 15 Kilometer Länge schaltet, so kommt er dadurch zu elektrischen Spannungen von 2000 und mehr Volt, die also ungemein lebensgefährlich sind. Allerdings stände ja nichts dem im Wege, die Anzahl hintereinander zu schaltender Bogenlichtlampen sowie die Lichtbogenlänge kleiner zu wählen, als das Brush thut, und so die Gefahr herabzumindern, aber man verliert dann eben gerade einen der Hauptvortheile, den auch Brush selbst als solchen besonders betont, nämlich die Möglichkeit so dünne Zuleitungsdräthe zu verwenden und bloss so geringe Verluste von elektrischem Strom auf dem Wege von der Dynamomaschine zu der Batterie in den Kauf nehmen zu können, wie das bei Anwendung der hochgespannten Ströme der Brush'schen Bogenlichtanlagen der Fall ist.

Auch ist wohl die Behauptung von Brush nur theilweise zutreffend, dass es nämlich bei Anwendung von Accumulatoren möglich sei, die Grösse der erforderlichen Dynamo- und Dampfmaschinen sehr beträchtlich zu reduciren, da man sie nun ja fast die ganze Zeit hindurch, in welcher kein Lichtbedarf ist, würde gehen lassen können. Länger als 12 Stunden pro Tag hindurch wird man überhaupt nicht gut eine Maschine gehen lassen können, da sonst eine vermehrte Abnutzung und die grössere Gefahr eines Unfalls an der Maschine die Ersparung an Anlage-Capital reichlich wieder aufwiegen würde.

Der Haupthinderungsgrund aber ist ohne Zweifel die grosse Kostspieligkeit des mit Hülfe von Accumulatoren erhaltenen Lichtes, hauptsächlich weil deren Abnutzung nach allem, was wir von früheren Accumulatoren her wissen, eine sehr beträchtliche ist. Edison[2]) behauptet gar, sie betrage jährlich 30% des Einkaufspreises, und wenn nun auch diese Zahl immerhin zu hoch gegriffen sein mag, und Edison aus leicht begreiflichen Gründen geneigt ist, in zu schroffer[3]) Weise über die ganze Accumulatorenfrage und deren durch das Brush-Swan-System versuchte Lösung abzuurtheilen, so liegt doch in dem, was er über die Rentabilität derartiger An-

---

[2]) Edison Bülletin p. 275.

[3]) Edison (Bülletin p. 278) sagt z. B.: „Sobald Jemand sich daran macht, mit Accumulatoren zu arbeiten, so legt er dadurch seine Neigung zum Betrügen klar an den Tag“.

lagen sagt, zweifellos viel Wahres, wenn wir ihm auch nicht darin Recht geben können, dass er den Accumulatoren allen praktischen Werth abspricht. Er[4]) behauptet, wenn man hochgespannte Ströme anwendet, um sie mittels kostbarer Accumulatoren in Ströme niedriger Spannung zum Glühlichtbetrieb an dem Orte des letzteren selbst umzusetzen, und auf diese Weise die Anlagekosten der werthvollen, dicken Kabelzuleitungen, wie sie seine Anlagen erfordern, zu sparen, so begeht man dabei genau denselben Fehler, als wenn man, um bei einer Leuchtgasanlage die gleichfalls kostspieligen dicken Zuleitungsrohre zu umgehen, das Leuchtgas unter einem sehr hohen Druck an die Abnehmer vermittelst dünner Zuleitungsrohre abgeben wolle und gleichzeitig nun — da der Gasdruck für den Gebrauch zu hoch — in jedem Hause einen besonderen Gasometer aufstellen und mit dessen Hülfe den Druck auf die gewünschte Grösse reduciren wollte. Offenbar würden die Anschaffungskosten der vielen einzelnen Gasometer den für die dicken Zuleitungen im anderen Falle erforderlichen Geldaufwand weit überschreiten.

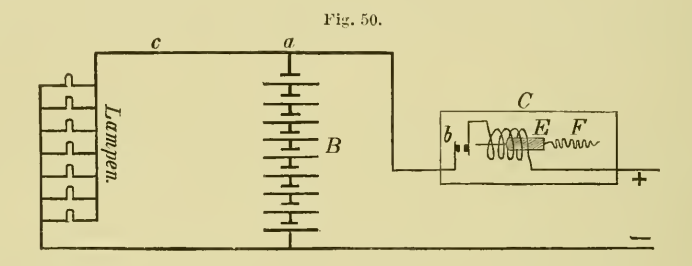
Wir haben vorher schon kurz darauf hingewiesen, dass die Accumulatoren auch beim Betriebe von Dynamomaschinen als Strom-Regulatoren verwendet werden können. Es ist dies, wie es scheint, diejenige ihrer Eigenschaften, welche sich schliesslich noch als die praktisch werthvollste, vielleicht als die einzige verwerthbare überhaupt, herausstellen wird. Wir wollen diese Art der Benutzung der secundären Batterieen an der Hand von Fig. 50, welche das Schema eines von Prof. G. F. Barker in Philadelphia angegebenen Apparates darstellt, erläutern.

Denken wir uns an den mit + und — bezeichneten Stellen die Zuleitungen zur Dynamomaschine angelegt, bei *b* den Contact geschlossen, bei *c* die Leitung zu den Lampen weitergeführt, und denken wir uns einstweilen die Accumulatoren-Batterie *B* noch fort, so wird, falls etwa die Dynamomaschine eine zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden hohe elektromotorische Kraft in Folge variabler Umlaufsgeschwindigkeit hat, jedes plötzliche Anwachsen oder Abfallen der Spannung ein plötzliches Anwachsen resp. Abfallen der Lichtstärke der Lampen nach sich ziehen. Schaltet man hin-

[4]) Ibid. p. 278.

gegen bei *B* eine Accumulatoren-Batterie von nahezu gleicher elektromotorischer Kraft in paralleler Schaltung zu den Lampen und zu der Dynamomaschine ein, so wird dieselbe als Stromregulator für letztere wirken und jegliches Pulsiren des Stromes verhindern, da ja offenbar die elektromotorische Kraft zwischen den Zuleitungsdräthen der Lampen nie höher wird steigen können als der Potentialdifferenz an den Polen der Accumulatoren-Batterie entspricht. Bleibt die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine vollkommen constant und — wie wir voraussetzen wollen — genau so hoch als die der secundären Batterie, so wird diese überhaupt keinen Strom, weder an die Lampen oder die Leitung liefern, noch auch von letzterer geliefert erhalten, wir könnten sie für diesen Fall selbstverständlich ebenso gut vollkommen entbehren und ausschalten. Wenn dann aber die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine in

Fig. 50.



Folge von Geschwindigkeitsänderungen des sie treibenden Motors fällt, so wird nun die Batterie Strom an die Lampen liefern, sie wirkt dabei in analoger Weise, wie das Schwungrad an einem Motor. In der That kann man auf diese Weise z. B. selbst bei Benutzung von ganz ungleich rasch umlaufenden Gaskraftmaschinen doch ein vollkommen gleichmässiges Brennen der Lampen erzielen. Es ist dann nur bei dieser Art der Benutzung der Accumulatoren erforderlich, auf jeden Fall dafür zu sorgen, dass ein Entladen derselben durch die Armaturdräthe der Dynamomaschine unmöglich gemacht wird. Bei dem geringen Widerstande dieser würde die secundäre Batterie sich dann nicht nur in kürzester Frist völlig erschöpfen, sondern auch in Folge des starken Stromes an den Contactbürsten ungemein starke Funkenbildung veranlassen oder eventuell die Armatur der Dynamomaschine in umgekehrter Richtung

zur Umdrehung bringen. Dies zu verhindern, kann ein Unterbrecher dienen, etwa wie der in Fig. 50 mit *C* bezeichnete. Derselbe besteht aus den beiden Contactfedern *b*, der als Fortsetzung der einen derselben in der Figur dargestellten dickdrathigen Spirale, und einem in letztere hineinziehbaren Eisencylinder *E*. Sobald man den Contact *b* mit der Hand schliesst, wird der Eisencylinder *E* in Folge der magnetischen Wirkung der ihn umgebenden dickdrathigen Spirale in diese hineingezogen, und der auf der linken Seite von *E* befestigte, gleichfalls in der Fig. 50 dargestellte Stift wird sich gegen die Contactfeder *b* legen und diese in ihrer Stellung so lange festhalten, als die Stärke des Dynamostromes gross genug ist, um die zurückziehende Kraft der Feder *F* zu überwinden. Die Spannung der letzteren wird man je nach der erforderlichen Stromstärke zuvor passend zu reguliren haben.

§ 69. Theorie der secundären Elemente.

Die in § 63 erwähnten Polarisationserscheinungen, welche z. B. an Platinelektroden auftreten, wenn dieselben in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht sind, und ein galvanischer Strom durch sie hindurchgeschickt wird, erklären sich in ziemlich einfacher Weise. In Folge der Stromwirkung wird an der einen Platte Wasserstoff, an der anderen Sauerstoff, letzterer allerdings wohl erst in Folge secundärer Wirkung, ausgeschieden, jedes der beiden Gase wird bis zu gewissem Grade von derjenigen Polplatte, an welcher die Ausscheidung erfolgte, absorbirt werden, und wir haben nun nicht mehr 2 gleichartige Platten in Berührung mit der betreffenden Flüssigkeit, im gedachten Falle Platin und verdünnte Schwefelsäure, sondern einerseits eine mit Wasserstoff, andererseits eine mit Sauerstoff belegte Platinplatte d. h. also zwei chemisch nicht gleichartige Körper in Berührung mit einer und derselben Flüssigkeit. Derartige Platten nannten wir „polarisirt". Die elektromotorische Kraft der auf diese Weise erhaltenen Kette ist gleich der Summe der einzelnen, in ihr vorkommenden Potentialdifferenzen. Ihr Betrag ist im betrachteten Falle etwa = 1,45 Volt und würde als ein Maass der chemischen Affinität zwischen Wasserstoff und Sauerstoff anzusehen sein. Verbinden wir nun die beiden Platten mit einander durch einen Drath, so vereinigt sich der Wasserstoff und Sauer-

stoff wieder, und die Energie der Verbindung erscheint in der Form eines sogenannten secundären Stromes.

Weit complicirter hingegen sind die Vorgänge, sobald zu den rein elektrolytischen noch secundäre, chemische Vorgänge wie in den sog. secundären Elementen beispielsweise hinzukommen. Dies ist bei den von uns betrachteten Accumulatoren von Planté, Brush, Faure an beiden Elektroden der Fall. Der an der Anode ausgeschiedene Sauerstoff verbindet sich hier mit dem Blei unter Bildung von Bleisuperoxyd, der an der Kathode ausgeschiedene Wasserstoff reducirt das etwa an jeder Elektrode haftende Oxyd zu metallischem Blei unter Aufnahme des Sauerstoffs des Oxyds und Bildung von Wasser, und es ist, genau wie im vorigen Falle, auch hier die elektromotorische Kraft der so entstandenen Kette gleich der Summe der Potentialunterschiede zwischen den einzelnen Körpern.

Werden nun die Polplatten des Accumulators mit einander metallisch verbunden, so verläuft ein dem vorher angegebenen genau umgekehrter Process. Wasser wird zersetzt, der Wasserstoff geht jetzt zu der mit Bleisuperoxyd bedeckten Bleiplatte und reducirt dieses wiederum unter Bildung von Wasser, während der Sauerstoff das durch die Ladung des Accumulators reducirte, schwammige Blei nun wieder oxydirt. Dieses ist im Allgemeinen die Ansicht von dem Verlauf der Reaction, wie man sie früher als gültig annahm. Indess ist dabei keinerlei Rücksicht genommen auf die Rolle, welche die Schwefelsäure bei der Zersetzung spielt und welche in der That die Wirkung des Elementes sehr wesentlich beeinflusst, wie Gladstone & Tribe[1]) sowie Aron[2]) gezeigt haben, deren Arbeiten wir hauptsächlich die Kenntniss der bei secundären Elementen sich abspielenden chemischen Processe zu danken haben. Erstere beiden Forscher haben gezeigt, dass das Endproduct der Entladung nicht Bleïoxyd, wie früher angenommen, sondern schwefelsaures Blei auf beiden Platten sei, und bewiesen, dass eben dieses Bleisulphat bei der neuen Ladung der Batterie an der einen Elektrode zu Blei reducirt, an der anderen zu Bleisuperoxyd

---

[1]) Gladstone & Tribe, the Chemistry of the sec. Batteries of Planté & Faure, London 1883; auch deutsch von R. v. Reichenbach, Wien (Hartleben's Verlag) 1884.

[2]) Aron El. Z. III p. 222, 1882; IV p. 58 u. 100, 1883.

oxydirt werde. Bei abwechselndem Entladen und Wiederladen einer Planté'schen oder Faure'schen Zelle würde mithin Bleisulphat abwechselnd an dem Blei gebildet und wieder reducirt werden, die Platte selbst dabei aber nicht merklich angefressen. Folglich müsste der Process des Ladens der Zelle sich dadurch charakterisirt zeigen, dass der Procentgehalt der Flüssigkeit des Accumulators an Säure durch die elektrolytische Zersetzung des Bleisulphats während des Ladens zunimmt und umgekehrt bei der Entladung abnimmt, was Aron in der That durch das Experiment nachgewiesen hat. Er fand[3]) Aenderungen des specifischen Gewichtes der Flüssigkeit von nahezu 10% (1,175 bis 1,065), und wies nach, dass gleichzeitig dann auch beim Entladen die negative Polplatte durch Aufnahme von Schwefelsäure resp. Bildung von Bleisulphat schwerer, beim Laden leichter wird.

Für die Theorie der secundären Elemente sind von ganz besonderem Werthe die Untersuchungen, welche Gladstone & Tribe über diejenigen Reactionen angestellt haben, welche sich an der einen resp. der anderen Bleiplatte des Accumulators allein abspielen. Diese Processe sind theils rein chemischer, theils physikalischer Natur, indess ist die Trennung zwischen beiden Classen stellenweise gar nicht möglich durchzuführen, da sie grossentheils gleichzeitig neben einander verlaufen. Die erwähnten Erscheinungen physikalischer Natur sind aber ohne Zweifel das Wichtigere, da auf ihnen das Verhalten der Bleielektroden resp. deren im Laufe der Zeit eintretende Veränderungen beruhen, und sie somit auch das ganze Verhalten der secundären Ketten bedingen. Gladstone & Tribe haben diese, hier in Frage kommenden, an den einzelnen Platten mit der Zeit hervortretenden Veränderungen als Folgen einer Localaction bezeichnet, wir wollen sie — da das wesentlich Bedingende die dabei sich zeigende Stromwirkung ist — „locale Stromwirkungen" nennen.

Ihre Entstehungsweise wird aus Folgendem klar werden. Denken wir uns eine blanke, metallische Bleiplatte und auf ihr festhaftend d. h. in unmittelbarer Berührung mit ihr ein Stückchen Bleisuperoxyd und das ganze in eine Flüssigkeit z. B. verdünnte Schwefelsäure eingesenkt, so haben wir offenbar an der be-

---

[3]) a. a. O. p. 101.

trachteten Stelle ein kleines galvanisches Element bestehend aus Blei und Bleisuperoxyd, die mit einander metallisch verbunden sind und in verdünnte Säure tauchen. Die Folge wird ein elektrischer, in der Richtung vom metallischen Blei durch die Flüssigkeit zum Bleisuperoxyd und von hier durch die directe Berührungsstelle zum Blei zurückkehrender galvanischer Strom sein. Durch letzteren aber wird offenbar das Bleisuperoxyd allmälig reducirt und die zuvor blanke, rein metallische Oberfläche der Bleiplatte allmälig oxydirt werden. Der so entstandene locale Strom wird so lange andauern und so lange chemische Veränderung der Blei-Oberfläche hervorbringen, bis diese letztere in ihrer ganzen Ausdehnung die gleiche chemische Beschaffenheit zeigt. Der analoge Vorgang wird eintreten müssen immer, wenn wir Elektricität leitende, chemisch heterogene Körper mit Metallplatten, die in Flüssigkeiten untergetaucht sind, in unmittelbarer Berührung haben.

Diese Erscheinung erklärt nun vollkommen die an den Bleielektroden der secundären Elemente sich zeigenden Veränderungen. Würde in einem solchen Accumulator z. B. die +Bleiplatte an allen Stellen vollkommen gleichmässig mit Bleisuperoxyd bedeckt sein und dauernd damit bedeckt bleiben, so würde eine solche Platte beliebig lange in verdünnter Säure aufbewahrt werden können, ohne sich zu verändern, und ein aus einer solchen und aus einer vollkommen reinen Bleiplatte zusammengesetztes secundäres Element würde in ungeschlossenem Zustande dauernd seine Ladung bewahren. Indess diesen Fall haben wir leider in der Praxis nicht. Die Wärme-Ausdehnung der Metalle und der Superoxyde ist eine sehr verschiedene, und vermuthlich ist gerade dieser Umstand der Grund der stets eintretenden Sprünge und Risse, welche sich nach einiger Zeit in der Superoxydbekleidung zeigen und die, wenn die niedergeschlagene PbO_2-Schicht grössere Dicke als $^1/_2$ mm hat, ein Losblättern derselben von ihrer Unterlage zur Folge haben. Haftet dabei das Superoxyd wenigstens noch an grösseren Stellen am Metall an, so ist es für die Wirksamkeit des Accumulators noch nicht verloren, wird dies aber, sobald die Ablösung ganz oder grösstentheils erfolgt ist. Hierdurch erklären sich nun die allmälig eintretenden Ladungsverluste ungeschlossener, zuvor geladener Accumulatoren in einfachster Weise. Sobald durch neue sich bildende Risse neue Partien von metallischem Blei freigelegt sind, so dass die Säure-

flüssigkeit zu ihnen Zutritt erhält und sie diese und das anhaftende Bleisuperoxyd gleichzeitig bespült, so haben wir dadurch ein neues locales Element an der betreffenden Stelle erhalten, das dem Vorhergehenden gemäss so lange Bleisuperoxyd reduciren wird, bis wieder Gleichartigkeit der dann gerade bestehenden Gesammtoberfläche der betreffenden Platte hervorgebracht ist. Dieselbe wird aber auch wiederum nicht lange bestehen können, da wieder neue Sprünge eintreten, und das Spiel von Neuem beginnen wird.

Hieraus geht ferner gleichzeitig hervor, dass ein Accumulator um so schlechter sein wird, je mehr das auf seiner +Platte durch die ihn ladende Säule niedergeschlagene Bleisuperoxyd die Neigung hat sich loszublättern, und es ist ausserdem einleuchtend, dass es vortheilhaft sein muss, wenn die zum Accumulator verwendete Flüssigkeit eine solche ist, dass sie in Folge rein chemischer Wirkung auf den durch den Ladungsstrom erzeugten Bleisuperoxydtheilchen einen unlöslichen Niederschlag bildet, der den elektrischen Strom schlecht leitet, wie das bei dem in den Planté'schen und Faure'schen Ketten sich bildenden Bleisulphat der Fall ist. Es wird dann die Zurückverwandlung des Bleisuperoxyds in Folge der nun an Intensität viel geringeren lokalen Ströme eine weit langsamere, die Zeit, während deren der Accumulator seine Ladung bewahren kann, eine entsprechend grössere sein. Vermuthlich wirkt das Collodium, in welches Aron[4]) die zu seinem „Bleimetallodium"-Accumulatoren verwendete Mennige einrührt, auch in dieser Weise.

Aehnliche Erscheinungen wie die eben betrachtete allmälige Zerstörung des Bleisuperoxyds auf der +Elektrode des Accumulators durch locale Ströme und allmälige Ueberführung in Bleisulphat, wodurch sie stufenweise ihre Energie einbüsst, treten auch an der negativen Platte auf.

Hiernach könnte es scheinen, als ob die localen Stromwirkungen an den Accumulatorplatten vollkommen nutzlos für den zu erreichenden Effect wären; indess ist das insofern nicht der Fall, als gerade durch sie die Oberfläche des Metalls mehr und mehr vergrössert, das Metall selbst zu grösserer Aufnahmefähigkeit von Gas vorbereitet wird. Dies ist auch der Grund der „Ruhepausen", die Planté bei der Ladung seines Elementes eintreten zu lassen

---

[4]) El. Z. IV p. 59, 1883.

empfiehlt. In diesen Ruhepausen wird aus einem Theil des gebildeten Bleisuperoxyds Bleisulphat, und hierauf bei neuer Ladung neues Blei in neues Bleisuperoxyd verwandelt, so dass die Menge des Letzteren allmälig wächst, während sonst sich direct Sauerstoff an dem bereits fertig gebildeten Bleisuperoxyd nutzlos ausscheiden würde. Es legt eben die gebildete Schicht dieses Superoxyds der ferneren Oxydirung des metallischen Bleies ein grosses Hinderniss in den Weg, und der Werth der aufeinanderfolgenden Ruhepausen bei dem Planté'schen Verfahren ist der, durch die Wirkung der Localströme die Bildung von Bleisulphat und damit zugleich die Oxydation der zunehmenden Menge fein zertheilten Bleies, welches so in das Bereich der Einwirkung gelangt, zu ermöglichen. So nützlich also auf der einen Seite auch die eben besprochenen localen Stromwirkungen für die Vorbereitung der secundären Elemente erscheinen, so schädlich sind sie doch, wenn einmal das fertige Element lange Zeit hindurch unbenutzt aufbewahrt werden soll.

Gladstone & Tribe machen in ihrer interessanten Arbeit noch auf eine merkwürdige, stellenweise eintretende Folge der localen Stromwirkung aufmerksam, nämlich dass beim Entladen der Zelle das Blei an der negativen Polplatte nicht blos in Sulphat, sondern zum Theil sogar in Bleisuperoxyd — vielleicht durch Oxydation schon vorhandenen Sulphats — umgewandelt wird. Es wird sich daher ein Zustand des elektrischen Gleichgewichts einstellen können, lange bevor alles Superoxyd an der anderen Platte erschöpft ist. Indess befinden sich offenbar beide Platten hinsichtlich der localen Stromwirkungen in sehr verschiedener Lage: während auf der einen sehr viel Bleisuperoxyd vorhanden, findet sich nur sehr wenig davon auf der anderen vor, der Potentialunterschied zwischen den Platten wird sich daher in Folge von localen Stromwirkungen nach einiger Zeit wieder herstellen, und bei neuem Schliessen der Zelle wird sich dieselbe von Neuem in activem Zustande befinden. Sie bezeichnen diese Erscheinung als Rückstand der Ladung. Die anfängliche, überaus hohe, sofort nach erfolgter Ladung einer secundären Zelle sich zeigende elektromotorische Kraft der Accumulatoren schreiben Gladstone & Tribe der Bildung von Wasserstoffsuperoxyd zu. Die bekanntermaassen freiwillig eintretende Zersetzung dieses Körpers bedingt das rasche Heruntergehen der anfänglich beobachteten hohen Potentialdifferenz der Polplatten sowie

auch die nach erfolgter Ladung stets eintretende Sauerstoffentwicklung an der mit Bleisuperoxyd beladenen Platte.

Aron geht in dieser Beziehung noch weiter und ist geneigt, das Wasserstoffsuperoxyd als das eigentlich Wirksame der secundären Zellen überhaupt anzusehn. Er stützt diese seine Ansicht dadurch, dass er auf die blauschwarze Farbe der an der +Bleiplatte ausgeschiedenen Substanz aufmerksam macht, die seiner Ansicht nach nicht Bleisuperoxyd sein kann, da dieses, wenn auf chemischem Wege erhalten, chokoladenbraun sei. Er hält daher den fraglichen Körper für eine Verbindung von Bleioxyd mit Wasserstoffsuperoxyd ($PbO + H_2O_2$), während nach Wernicke's Ansicht der Körper für Bleisuperoxydhydrat ($PbO_2 + H_2O$) anzusehen ist. Von dieser seiner Ansicht ausgehend vindicirt denn auch Aron dem ($PbO + H_2O_2$) sämmtliche Eigenschaften des Wasserstoffsuperoxyds, so z. B. dessen freiwilliges Zersetzen, die grössere Beständigkeit in saurer als in neutraler Lösung etc. Die Schwefelsäure und deren Einwirkung auf das gebildete Blei resp. Bleisuperoxyd hält Aron für unwesentlich für das Zustandekommen der Wirkung der Accumulatoren und die durch sie hervorgehenden Veränderungen erklärt er als Folgen rein chemischer Reactionen.

Ob diese, von Aron aufgestellten Hypothesen bezüglich der Wirksamkeit des Wasserstoffsuperoxyds vollkommen zutreffen, muss wohl noch durch genauere, chemische Versuche bestätigt werden, indess muss andererseits hervorgehoben werden, dass eine solche Annahme einer Verbindung von Bleioxyd mit Wasserstoffsuperoxyd in der That alle Erscheinungen des Accumulators in ungezwungener Weise erklärt. Ausserdem haben wir wohl auch kaum zwingende Veranlassung, der Bildung und Zersetzung von Bleisulphat eine solche Bedeutung bei der Entladung und Ladung der Accumulatoren zuzuschreiben, wie das Gladstone & Tribe thun, wenigstens spricht dagegen doch der Umstand, dass man Accumulatoren auch bei Anwendung anderer Flüssigkeiten als verdünnter Schwefelsäure erhalten kann, bei denen der Sinn des Verlaufs der sich abspielenden Processe exact mit den hier besprochenen übereinstimmt.

§ 70. Schlussfolgerungen.

Wenn wir nun auf Grund der in den vorhergehenden Paragraphen gegebenen Auseinandersetzungen noch kurz die Aussichten und Hoffnungen, die wir berechtigt sind, an den Gebrauch der secundären Batterien zu knüpfen, zusammenfassen sollen, so müssen wir uns leider sagen, dass deren nur eine sehr kleine Zahl übrig bleibt. Der Hauptmangel ist, dass die Accumulatoren die ihnen einmal ertheilte Ladung nicht lange zu bewahren im Stande sind, sondern mehr und mehr die in ihnen aufgespeicherte Energie in Folge der localen Stromwirkungen in sich selbst aufbrauchen. Dieser Energieverlust ist um so grösser, je dünner die Schicht des auf der positiven Platte abgelagerten Superoxyds, sodass bei neuen, nicht „vorbereiteten" Planté'schen Ketten sich die Ladung überhaupt nur eine verschwindend kurze Zeit hält. Der zweite Fehler beruht darin, dass die Schwefelsäure die Blei- sowohl wie die Bleisuperoxydplatte direct chemisch angreift. Diesen Einwirkungen sind die Faure'schen Elemente genau wie die Planté'schen unterworfen, und überhaupt wird dies bei allen Accumulatoren nothwendiger Weise leider stets der Fall sein müssen.

Die Art, wie man die Accumulatoren als Stromquellen praktisch zu Beleuchtungszwecken würde verwenden können, wird einzig und allein immer nur die sein können, wie es Brush thut. Ein Parallelschalten der Accumulatoren beim Laden und ein Hintereinanderschalten derselben beim Entladen kann im Laboratorium sehr wohl geschehen; aber sobald das Publikum derartige secundäre Ketten benutzen soll, ist es erforderlich, dieselben ihm in der Art zu liefern, dass sie sowohl bei dem Laden wie bei der Entladung in genau der gleichen, ein für alle Mal gegebenen Art der Zusammenschaltung verbleiben. Sollen derartige physikalische Apparate wie z. B. hier die Accumulatoren praktische Verwendung im Hausgebrauch finden können, so müssen sie so construirt sein, dass sie keinerlei Beaufsichtigung oder Regulirung von Seiten des sie verwendenden Publikums bedürfen. Insofern ist also der von Brush gewählte Weg, die Accumulatoren für den Glühlichtbetrieb zu verwenden, allerdings der richtige. Aber er leidet an einem grossen Mangel, welcher darin besteht, dass es erstens unmöglich ist, Accumulatoren-Batterien zu construiren, deren einzelne Zellen sämmtlich

eine genau gleiche Capacität haben, und dass zweitens, selbst wenn dies der Fall wäre, doch unmöglich weder beim Laden noch Entladen die einzelnen Zellen sämmtlich in gleicher Weise wirken können. Dieser Umstand wird sich als sehr schädlich in dem Falle erweisen, wenn die Entladungszeit lang ausgedehnt wird, wobei dann nothwendiger Weise die eine Zelle sich eher erschöpfen wird, als die andere, und es würde in diesem Falle die elektromotorische Kraft der Batterie dann nicht blos um den Betrag der elektromotorischen Kraft dieser einen erschöpften Zelle sinken, sondern die letztere wird sogar nun in Folge des sie durchfliessenden Stromes eine den anderen Zellen entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft in den Stromkreis einführen und durch ihre elektromotorische Gegenkraft die Wirkung einer anderen noch wirksamen Zelle geradezu aufheben. Hiernach dürfte es sich nicht empfehlen, mehr als etwa die Hälfte der Ladung jedesmal aus einer Batterie hintereinandergeschalteter, secundärer Elemente herauszuziehn.

Nach alledem sind die Aussichten für praktische, vortheilhafte Verwendbarkeit der Accumulatoren sehr geringe; von vornherein ist es ja auch an sich klar, wie Prof. Barker hervorhebt, dass ein Agens, wie hier die elektrische Energie, das zunächst erzeugt, dann in einem Accumulator aufgespeichert und nun erst verbraucht wird, jedenfalls um die Kosten der Aufspeicherung theurer sein muss als zuvor; immer noch vorausgesetzt, dass keine sonstigen Verluste mit in den Kauf zu nehmen wären, während doch, wie die zuvor erwähnten Pariser Versuche ergaben, sehr beträchtliche Verluste eintreten, die nahezu 50% betragen. Ferner stehen auch die hohen Anschaffungskosten der secundären Elemente und die Kosten, sie zu laden, ihr geringer Nutzeffect und besonders auch ihr Gewicht sehr hinderlich ihrer Anwendbarkeit im Wege. Sie werden daher vermuthlich mehr Anwendung in Laboratorien als in der Praxis finden, wenngleich sie auch hier in besonderen Fällen, speciell als Stromregulatoren ungleich rasch umlaufender Dynamomaschinen, ganz vorzügliche Verwendung würden finden können. Bisher allerdings sind sie in der Praxis auch noch nicht einmal hierzu verwendet worden, obwohl gerade dies wahrscheinlich die einzige Art ihrer Anwendung ist, welche vom pecuniären Standpunkte aus zu billigen sein dürfte.

Dritter Abschnitt.

Die elektrische Bogenlicht-Beleuchtung.

Capitel I.

Der Volta'sche Lichtbogen und die Lampen für einzelnes und für getheiltes Licht.

§ 71. Das Volta'sche Bogenlicht.

Das Jahr 1800 wird in den Annalen der Wissenschaft immer als eines der denkwürdigsten dastehen, da es den Anfang einer neuen Aera der grossartigsten Entdeckungen und Erfindungen bildet, welche sich an Alexander Volta's Construction seiner galvanischen Säule und die durch sie gelieferten elektrischen Ströme knüpfen. Wohl kaum ist irgend eine andere Entdeckung je so folgenreich für die Entwicklung der Physik wie der Chemie gewesen, wie gerade die so eben erwähnte. Gelang es doch auch bekanntlich Humphry Davy mit Hülfe der galvanischen Kette die Alkalimetalle[1]) aus ihren geschmolzenen Chlorverbindungen zu reduciren. Diese glänzenden Resultate Davy's veranlassten 1808 eine Reihe „eifriger Freunde und Gönner der Wissenschaft" die zur Anschaffung einer Riesenbatterie von 2000 Zellen erforderlichen Mittel zusammen zu bringen[2]), welche im Laboratorium der Royal Institution in London aufgestellt werden sollte. Dieselbe bestand aus

[1]) Am 6. October 1807.

[2]) Es war eine Subscription zu dem Zwecke aufgelegt worden. Vergl. Dredge, Electric illumination I p. 24.

32 □ Zoll grossen Zink- und Kupferplatten, und 200 zugehörigen Porzellantrögen, welche mit einer Mischung von 60 Theilen Wasser mit 1 Theil Salpeter- und 1 Theil Schwefelsäure gefüllt wurden. Eines dieser Elemente befindet sich noch heute als historisches Stück in der Sammlung der Royal Institution.

Es ist klar, dass eine Batterie von solchen Dimensionen Ausserordentliches leisten konnte, und so müssen denn auch die Versuche, welche Davy in der Sitzung der Akademie 1813 zeigte, und bei welchen er zum ersten Male in vorher nie gekanntem Maassstabe das elektrische Kohlenbogenlicht darstellte, in der That den allergrössten Eindruck auf die Zuhörer gemacht haben. Davy selbst hat uns eine kurze Beschreibung[3]) jenes berühmt gewordenen Versuchs hinterlassen. „Wenn man Stückchen Zeichenkohle, sagt er, von ungefähr 1 Zoll Länge und $^1/_6$ Zoll Durchmesser mit den Poldräthen der Batterie verband und sie bis $^1/_{30}$ oder $^1/_{40}$ Zoll Entfernung einander näherte, so entstand zwischen ihnen ein hellglänzender Funke, gleichzeitig wurde mehr als die halbe Länge der Kohle zur hellsten Weissgluth entfacht; und, beim Auseinanderziehen der Kohlenspitzen, fand eine fortdauernde Entladung durch eine mindestens 4 Zoll lange Strecke der erhitzten Luft statt unter Bildung eines ausserordentlich brillanten, breiten, conisch zulaufenden Lichtbogens.“ Indess bei der leichten Verbrennlichkeit der von Davy benutzten Kohle währte das Experiment immer nur wenige Secunden und erst als Léon Foucault (1844) harte Graphitkohlenstäbe, hergestellt aus dem Rückstand in den Gasretorten, an Stelle der Davy'schen Zeichenkohlestifte und anstatt der Volta'schen Batterie die im Jahre 1842 entdeckten Bunsen'schen Zink-Kohle-Elemente benutzte, war es möglich, ein lange andauerndes elektrisches Bogenlicht zu erhalten, welches, besonders nachdem Foucault seinen äusserst sinnreichen, die Länge des Lichtbogens automatisch constant haltenden Regulator construirt hatte, in der That geeignet war, zu Schaustellungen in Theatern und Vorlesungen vielfach praktische Verwendung zu finden.

Wir haben bereits auf Seite 5 die Erscheinung des elektrischen Lichtbogens im Allgemeinen besprochen, in Fig. 2 (Seite 6) die Abbildung der Kohlenspitzen gegeben und dabei auf das wesent-

---

[3]) Davy's Collected Works vol. IV.

lich verschiedene Verhalten der beiden Kohlenspitzen beim Abbrennen aufmerksam gemacht. Während die mit dem positiven Pole der Electricitätsquelle verbundene, für gewöhnlich obere Kohle sich in Folge der Stromwirkung kraterförmig aushöhlt, spitzt sich die negative (untere) zu. Dieses Zuspitzen ist zum Theil allerdings eine Folge des directen Abbrennens, zum grösseren Theile aber wird es dadurch hervorgebracht, dass durch den von der +Kohle ausgehenden elektrischen Strom feine Kohlepartikelchen losgerissen und nach der negativen Kohlenspitze hinübergeschleudert werden und auf dieser sich zu einem kleinen Berge allmälig anhäufen. In Folge davon findet denn auch ein doppelt so rasches Abbrennen der oberen Kohle statt. Bei genauerer Betrachtung der Kohlenspitzen bemerkt man nahe ihren Enden kleine, metallglänzende Kügelchen — grösstentheils aus Silicium bestehend — die auf der glühenden Fläche der Kohlenspitzen prasselnd hin und her fahren und, wenn sie gelegentlich in den Kohlenlichtbogen selbst kommen, das Licht flackernd und zischend machen. Je unreiner die Kohlen, um so grösser die Zahl solcher kleinen Siliciumkügelchen, und um so unruhiger und unangenehmer das Licht. Das oben erwähnte ungleichartige und ungleich rasche Abbrennen der Kohlenspitzen findet naturgemäss bei sogenannten Wechselströmen nicht statt, es ist daher auch in diesem Falle die Lichtvertheilung nach verschiedenen Seiten hin eine gleichmässige, während dies bei Anwendung von gleichgerichteten Strömen nicht der Fall ist. Entsprechend der grösseren Ausdehnung der glühenden Fläche und der bedeutend höheren Temperatur der positiven Kohle überwiegt die Menge des von ihr ausgehenden Lichtes bei weitem das von den andern Theilen ausgestrahlte. Der Flammenbogen selbst sendet nur 5% der ganzen Lichtmenge aus, die negative Kohle 10% und die positive Kohle 85%; in Folge dieser ungleichen Lichtvertheilung empfiehlt es sich eben auch, für gewöhnlich die positive Kohlenspitze als die obere in den elektrischen Lampen zu nehmen, da dann die bei weitem grösste Menge Licht nach unten hin geworfen wird, und die kraterförmig sich aushöhlende Unterfläche der Kohle als Reflector wirken kann. Braucht man das Licht nur nach einer bestimmten Richtung hin, so kann man mit Vortheil die beiden Kohlen excentrisch stellen, etwa so, dass die Axe der unteren, negativen Kohle in die vordere Fläche der oberen positiven Kohle fällt. Es wird dann

ein bei weitem grösserer Bruchtheil des von der letzteren ausgesendeten Lichtes nach vorn hin geworfen, und wir finden diese Anordnung bei elektrischen Leuchtthurm-Lampen demgemäss stets angewendet.

Die Temperatur-Bestimmungen der einzelnen Theile des Kohlenlichtbogens verdanken wir hauptsächlich Prof. Rosetti's[4]) Arbeiten. Er gelangte zu dem Resultat, dass dieselbe abhängig sei von der Dicke der Kohlen, der elektromotorischen Kraft der Batterie und der Stromstärke im Kreise. So fand er z. B. als mittlere Temperatur der positiven Kohlenspitze bei einem Versuch 2980° C., als die Kohle indess mit einer dünneren gewechselt wurde 3065° und bei einer noch dünneren 3136°. Der Effect der höheren elektromotorischen Kraft der Kette zeigt sich aus den folgenden Zahlen:

Zahl der Elemente	Temperatur der positiven Kohlenspitze
50	2190° C.
60	2334 „
70	2534 „
80	2784 „

Aus allen seinen Versuchen zieht Rosetti als Schlussresultat das, dass die Temperatur der +Kohle etwa 3200, die der negativen zu 2500° C. angenommen werden könne.

Für den Widerstand des Kohlenlichtbogens sind sehr verschiedene Grössen angegeben: Siemens nahm früher 1 Ohm für ihn an, nach neueren, in seinem Institut angestellten Versuchen indess 4—5, Preece 1—3 Einheiten, Hagenbach etwa 4—5, Ayrton und Perry[5]) 12 Ohm, Du Moncel für gewöhnliches gutes Bogenlicht 30—40 Ohm (?). Die ältere Angabe von Siemens ist wohl nur für starke Einzellichter gültig, im Allgemeinen wird man durchschnittlich etwa 4 Ohm rechnen dürfen. Das weite Auseinandergehen obiger Angaben wird verständlich, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Beobachter ihre Versuche zweifellos unter sehr verschiedenen Umständen (verschiedene Bogenlänge, Stromstärke, verschieden reine Kohlen etc.) angestellt haben.

---

[4]) Journal de Physique. August 1879.

[5]) Telegraphic Journal, Febr. 1879.

Die Abhängigkeit des Widerstandes des Lichtbogens von der Bogenlänge ist nicht[6]) bekannt, jedenfalls aber ist der Widerstand nicht etwa direct proportional der Bogenlänge, wie man von vorn herein vielleicht geneigt sein kann anzunehmen, sondern in viel geringerem Maasse davon abhängig. Hingegen ist durch Versuche, die im Institut von Siemens & Halske angestellt wurden, die Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke genau untersucht, und es hat sich ergeben, dass bei constanter Bogenlänge der Widerstand umgekehrt proportional der Stromstärke ist.

Ob man, wie das Edlund thut, an den Kohlenspitzen des Volta'schen Lichtbogens wirklich eine elektromotorische Gegenkraft (von 30 Volt!) anzunehmen hat, muss wohl noch als zweifelhaft angesehen werden.

§ 72. Messungen der Lichtstärke und der zur Lichterzeugung erforderten Arbeit.

Da der Volta'sche Lichtbogen ein Aequivalent der mechanischen bei Bewegung der Lichtmaschinen geleisteten Arbeit ist, so muss er also offenbar auch ein Aequivalent der zu dieser Arbeitsleistung in der Kesselfeuerung verbrannten Kohlen sein. Indess ist die wirkliche Beziehung zwischen Stromstärke, der erzeugten Wärme und dem erzeugten Licht durchaus noch nicht mit Sicherheit festgestellt, so wichtig auch dies für die ganze Frage sowohl vom rein wissenschaftlichen, wie auch ökonomischen Standpunkte aus sein würde.

Allerdings sind ja seit dem Jahre 1876 eine grosse Anzahl von Messungen der Intensität des elektrischen Bogenlichtes und der zu dessen Erzeugung in den betreffenden Fällen erforderlichen Menge Arbeit ausgeführt worden. Jedes elektrotechnische Etablissement giebt ja auch über die von ihm verfertigten Dynamomaschinen, den Kraftverbrauch in ihnen und die mit ihren Lampen dann erhaltenen Mengen Licht Zahlendaten an, die auch vielfach in Werke über die elektrische Beleuchtung übergegangen sind, indess pflegt bei diesen Zahlen in der Regel nicht angegeben zu sein, wie sie erhalten wurden, und was sie eigentlich bedeuten. Manche der

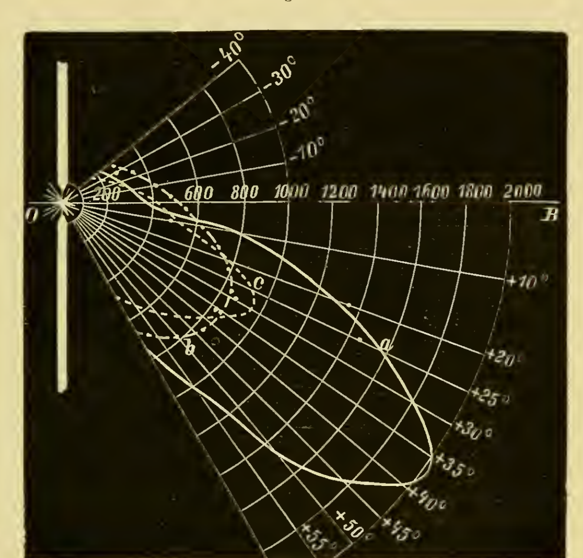
---

[6]) O. Frölich, El. Z. III 219, 1882.

Zahlen beziehen sich z. B. auf die in horizontaler Richtung ausgesendete Lichtmenge des elektrischen Lichtbogens, andere geben nur die Lichtstärke für diejenige Richtung an, in welcher das Maximum der Lichtausstrahlung erfolgt u. s. w.

Um eine genaue Kenntniss[1]) der von einer elektrischen Lampe ausgestrahlten Lichtmenge zu erhalten, ist es erforderlich, wegen der sehr ungleichen Helligkeitsvertheilung zwischen den Kohlenspitzen und im Flammenbogen selbst die nach verschiedenen Rich-

Fig. 51.



tungen[2]) hin von der Lampe ausgestrahlten Lichtintensitäten zu ermitteln. Es geschieht dies mit Hülfe von Spiegelapparaten, deren Reflexions-Coëfficient zuvor zu ermitteln ist, und welche das in gewisser Richtung von der Lampe ausgehende Licht horizontal zu

[1]) Wir folgen im Allgemeinen dem Aufsatz von Dr. Hugo Krüss in Hamburg. Münch. offic. Ausstllg. Ber. Th. II p. 76, 1884.

[2]) Auch auf die nach verschiedenen Richtungen verschiedene Ausstrahlung der Vergleichskerzen ist zu achten.

machen und in die zur Messung im Photometer geeignete Lage zu bringen erlauben.

Stellt man die auf solche Weise erhaltenen photometrischen Bestimmungen in Curven zusammen, so erhält man dadurch ein höchst übersichtliches Bild der Lichtausstrahlung. Die umstehende Figur 51 zeigt z. B. die Lichtintensitätscurven einer v. Hefner-Alteneck'schen Differentiallampe[3]). Curve *a* entspricht der Lichtstrahlung des nackten Bogenlichtes, Curve *b* des mit einer opalglasartigen, *c* des mit mattgeschliffener Glasglocke geschützten Lichtes. Die Stromstärke betrug bei diesen Versuchen 9,4 Ampère, die Spannungsdifferenz 45 Volt, der Durchmesser der oberen Kohle 11, der unteren 9 mm. *O* bezeichnet den Ort des Lichtbogens, die in der Figur angegebenen Winkel sind von der Horizontalen *O B* aus gerechnet. Die Curven selbst geben die Intensität des in der betreffenden Richtung ausgestrahlten Lichtes direct in Normalkerzen an und sind Mittelwerthe aus vielfach wiederholten Einzelmessungen, wie man sich überhaupt hier nie mit einzelnen Beobachtungen begnügen darf, da sonst ein gelegentlich eintretendes Flackern die erhaltenen Resultate sehr beeinflussen könnte. Die Curve *a* zeigt, wie bereits erwähnt, die Lichtausstrahlung des nackten, nicht durch eine Glasglocke geschützten Lichtbogens. Man erkennt, dass das Maximum der Lichtwirkung bei ihr unter einem Winkel von etwa 37° gegen die Horizontale auftritt, und mehr als 6 Mal so gross als die Ausstrahlung in horizontaler Richtung ist. Uebrigens sieht man auch aus dem Verlauf der Licht-Intensitäts-Curve, dass es offenbar nicht leicht möglich ist, eine einfache Zahl als Lichtstärke eines Bogenlichtes anzugeben.

Giebt man nur das Maximum der Lichtstärke an, so erweckt man über den Gesammtbetrag jedenfalls eine ganz falsche Vorstellung und man würde dann mit Hülfe dieser Zahlen gar keinen Anhalt für die Fälle gewinnen, wo es sich etwa darum handelte, die von einer bestimmten, z. B. einer Differentiallampe bei Wechsel- und das andere Mal bei gleichgerichteten Strömen erhaltenen Lichtmengen mit einander zu vergleichen. Die einzig richtige Art der Angabe der Lichtintensität wird, wie wir das früher bei den

---

[3]) v. Hefner-Alteneck, El. Z. IV p. 417. 1883.

Glühlampen gesehen haben, auch hier wieder die „mittlere räumliche Lichtstärke“[4]) sein.

Um eine solche zu erhalten, hatte Fontaine[5]) Messungen in 12 verschiedenen Richtungen gegen die Horizontale von 15 zu 15^0 fortschreitend ausgeführt und aus den so gefundenen Beobachtungsresultaten das arithmetische Mittel genommen. Er erhielt dadurch beispielsweise bei einer Gramme'schen Maschine, deren Tourenzahl 750 war, folgende Werthe für eine Serrin'sche Lampe:

Ueber der Horizontalen			Unter der Horizontalen		
Neigung gegen die Horizontale 0	Helligkeit in Carcels[6])	Helligkeit Verhältniss	Neigung gegen die Horizontale 0	Helligkeit in Carcels[6])	Helligkeit Verhältniss
90	12	0,05	0	225	1
75	21	0,1	15	400	1,8
60	79	0,3	30	822	3,7
45	119	0,5	45	1175	5
30	130	0,6	60	1325	6
10	144	0,6	75	1051	4,7
0	225	1	90	0	—

Das sich hieraus folgernde arithmetische Mittel ergiebt als Helligkeit 458 „Becs Carcels“. Da nun die in horizontaler Richtung ausgesandte Helligkeit (225 Carcels) nahezu gleich der Hälfte jenes Mittels ist, so schloss Fontaine, dass es genügend sein müsse, um die Helligkeit einer mit gleichgerichtetem Strom gespeisten elektrischen Lampe kennen zu lernen, die von derselben in horizontaler Richtung ausgestrahlte Lichtmenge zu messen und den erhaltenen Werth mit 2 zu multipliciren.

Dasselbe Verfahren empfiehlt auch Gramme. Indess ist diese Art der Lichtstärke-Angabe zweifellos unrichtig, sie ist nur anwendbar für Lampen ganz bestimmter, einander ähnlicher Art, und vollkommen unrichtig, sobald man Lampen mit verschieden langem Lichtbogen mit einander vergleicht. Vollkommen richtig vergleichbare

[4]) Vergl. § 50 p. 133.

[5]) Fontaine, Éclairage à l'Électricité, II Édition, Paris 1879.

[6]) 1 Carcel = 7,4 Norm. Kerzen nach Fontaine, a. a. O. 352; nach Annahme der Pariser Jury 1881 hingegen = 9,5 N.-K., vergl. E. Richter, E. Z. IV 131, 1883.

Zahlenwerthe für die Lichtstärken verschiedener Bogenlichtlampen würde man eben nur auf die von Allard[7]) angegebene Weise erhalten können. Ihm zufolge würde man sich vorzustellen haben, es sei eine jede der mit einander zu vergleichenden Lichtquellen in den Mittelpunkt einer Kugel gestellt, deren Oberfläche in eine grosse Anzahl so kleiner Flächenelemente getheilt ist, dass jedes dieser letzteren für sich als gleichmässig beleuchtet angesehen werden kann, hingegen die Helligkeit von einem zur anderen sich ändert. Bildet man dann die Summe aller Flächenelemente, von denen jedes einzelne multiplicirt mit seiner mittleren Helligkeit ist, so wird die Summe dieser Producte die gesammte, von der betreffenden Lichtquelle ausgesendete Lichtmenge repräsentiren. Man würde hiernach also eigentlich die Lichtstrahlung der elektrischen Lampen in allen möglichen Verticalebenen zu untersuchen haben, indess wird diese Aufgabe dadurch wesentlich vereinfacht, dass bei den elektrischen Bogenlichtern, deren Kohlenaxen in einer geraden verticalen Linie liegen (was wir übrigens immer hier vorausgesetzt haben) die in verschiedenen Verticalebenen ausgestrahlten Lichtintensitäten natürlich einander gleich sein müssen, so dass es mithin genügt, die Lichtstrahlung in einer solchen Ebene allein zu betrachten.

Eine Reihe sehr sorgfältiger Lichtmessungen, welche zunächst die Lichtvertheilung im Raume zu ermitteln bezweckte, ist auf der Münchener internationalen Elektricitäts-Ausstellung von der Prüfungs-Commission angestellt, und über sie durch Prof. Ernst Voit[8]) im Münchener officiellen Ausstellungsbericht berichtet worden. Die erhaltenen Untersuchungsresultate wurden in doppelter Weise verwerthet: einmal ist für die untersuchten Lampen die Vertheilung der Lichtstärken nach den verschiedenen Richtungen des Raumes hin angegeben, und daraus die mittlere, räumliche Lichtstärke berechnet, andererseits ist mit Zuziehung der gleichzeitig ausgeführten dynamometrischen und elektrischen Messungen die von den Lampen pro dynamische und pro elektrische Arbeitseinheit ausgegebene räumliche Lichtstärke ermittelt.

Wir wollen hier nur kurz einige dieser Resultate mittheilen.

---

[7]) Mémoire sur les Phares électriques, Paris 1881.

[8]) Münch. off. Ausstell. Ber. Th. II p. 104 ff.

Untersucht wurden Lampen von Schuckert, Schwerd, Crompton und Schäffer, und die folgenden, die sehr verschiedene Lichtvertheilung nach verschiedenen Richtungen des Raumes hin documentirenden Zahlenwerthe erhalten:

Directe Messungen:

Lampe von	Lichtstärke in der Richtung gegen den Horizont (in Normal-Kerzen)[9]							
	0°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°
Schuckert	248	619	—	1037	1238	1464	1124	788
Schwerd	443	—	—	2859	—	3251	3250	1836
Crompton	452	1531	1116	2523	2116	3071	2155	1986
Schäffer	745	—	—	875	—	—	1168	1227

Aus dieser Tabelle folgen, wenn man die in horizontaler Richtung ausgestrahlte Lichtintensität als Einheit wählt, die nachstehenden Verhältnisszahlen:

Lampen von	Lichtstärke in der Richtung gegen den Horizont (in Normal-Kerzen)							
	0°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°
Schuckert	1	2,5	—	4,2	5	5,9	4,5	3,2
Schwerd	1	—	—	6,5	—	7,3	7,3	4,1
Crompton	1	3,4	2,5	5,6	4,7	6,8	4,8	4,4
Schäffer	1	—	—	1,2	—	—	1,6	1,6

und hieraus ergeben sich für die Factoren, mit welchen man die Lichtintensitäten in horizontaler Richtung multipliciren muss, um die mittleren, räumlichen Lichtstärken zu erhalten, für die verschiedenen Lampen die folgenden Reductionscoëfficienten:

für die Lampe von Schuckert 1,88
" " " " Schwerd 2,51
" " " " Crompton 2,18
" " " " Schäffer 0,93

Die elektrischen und dynamometrischen Versuche, welche gleich-

[9]) „London standard spermaceti candle“ Flammenhöhe 45 mm, Wallrathconsum pro Stunde 7,78 g (= 120 Grains).

zeitig mit den in Vorstehendem angeführten photometrischen Messungen ausgeführt wurden, erlauben die einer bestimmten aufgewendeten dynamischen oder elektrischen Arbeitsgrösse entsprechende Lichtstärke anzugeben und liefern die folgende Reihe von Zahlen. Die darin aufgeführten mittleren räumlichen Lichtstärken sind aus den für die horizontale Richtung erhaltenen mit Hülfe der oben angegebenen Reductionsfactoren berechnet, und bei der Bestimmung der pro elektrische resp. dynamische Pferdekraft kommenden Lichtstärken sind die aus allen Beobachtungen der elektrischen Arbeit in Voltampère sowie in Pferdekräften gerechneten Mittelwerthe benutzt.

Lichtausstrahlung.	Lichtstärke in engl. N.-K.	Elektrische Arbeit disponibel an der Lampe in Voltampère	Lichtstärke pro elektr. Pf.-Kr. an der Lampe (in engl. N.-K.)	Lichtstärke pro dynam. Pf.-Kr. an der Maschine (in engl. N.-K.)
	Lampe von Schuckert			
in horizontaler Richtung .	250	385	417	313
Maximalwerth (45°) . .	1464	—	—	1513
mittlere räuml. Intensität .	470	394	878	579
	Lampe von Schwerd			
in horizontaler Richtung .	456	728	461	278
Maximalwerth (50°) . .	3250	811	2950	1836
mittlere räuml. Intensität .	1145	751	1121	788
	Lampe von Crompton			
in horizontaler Richtung .	560	920	488	382
Maximalwerth (45°) . .	3071	1164	1942	—
mittlere räuml. Intensität .	1221	958	939	814
	Lampe von Schäffer			
in horizontaler Richtung .	744	—	—	389
Maximalwerth (60°) . .	1227	—	—	634
mittlere räuml. Intensität .	692	—	—	360

Selbstverständlich sind diese durch die Beobachtung gewonnenen Werthe nur für den Zustand der Lampen gültig, bei welchem sie der Untersuchung unterworfen waren, und es könnten bei anderen Versuchs-Bedingungen eventuell erheblich andere Resultate erhalten werden. Da indess von den Fabrikanten, welchen die Installation und Inbetriebsetzung der Lampen vollkommen bei den eben er-

wähnten Münchener Versuchen überlassen war, wohl die für den jeweiligen Apparat günstigsten Bedingungen hergestellt sein werden, so dürften die angeführten Zahlenresultate als nahe der Maximalleistung der Lampen angesehen werden.

Indess ist es immer noch, trotz aller aufgewendeten Sorgfalt und Vorsicht, wie sie ohne Zweifel bei den Versuchen der Münchener Prüfungs-Commission angewendet wurden, ungewiss, ob auch die Bedingung genauer Axialstellung der Kohlenspitzen erreicht war. Geringe Fehler in ihr werden immer grosse Fehler im Endresultat hervorbringen können, die sich vermuthlich nur durch Anwendung gleichzeitiger Messungen mit 2 Photometern, zwischen welche die zu untersuchende elektrische Lampe zu setzen sein würde, werden herausschaffen lassen. Es bleibt eben immer eine gewisse Willkürlichkeit beim Aufstellen der zu untersuchenden Apparate bestehen, und es erklärt sich hieraus zur Genüge, dass die von den Fabrikanten angegebenen Lichtstärken ihrer Lampen in der Regel erheblich grösser sind, als sie bei praktischem Gebrauch gefunden werden; wie denn auch Dr. Hugo Krüss[10]) sehr richtig bemerkt, dass man durch aufmerksame Ueberwachung und Behandlung der Lampe und durch Wahl der günstigsten Länge des Lichtbogens, sowie der Form der Kohlenspitzen eine bedeutend grössere Helligkeit erzielen kann, als sie je bei praktischer Benutzung der Lampe im Mittel vorkommt, wo alle diese günstigen Umstände nicht immer zutreffen, durch welche der Fabrikant vielleicht eben im Stande ist, seine Lampen und Maschinen während einer kurzen Versuchsdauer in einen so ungewöhnlich günstigen Zustand des Functionirens zu versetzen.

Die soeben mitgetheilten Zahlengrössen beziehen sich auf frei brennende elektrische Lampen, die in der Praxis nur in den seltensten Fällen, eigentlich nur bei Strassenlaternen, Verwendung finden können, einerseits wegen des Blendens, andererseits weil dann alle unteren Theile der Lampe sehr hässliche, scharfe Schlagschatten werfen. Man ist daher gezwungen, die Lampe in Laternen oder Glasglocken einzuschliessen, was ausnahmlos bei allen im Innern von Gebäuden zu verwendenden Lampen wegen der durch herabfallende Kohlentheilchen möglichen Feuersgefahr zu geschehen

---

[10]) Münchener off. Ausstellgs.-Ber. Th. II p. 86.

hat. Dadurch wird indess viel an Licht verloren. Nach v. Hefner-Alteneck's[11]) Angabe beträgt dieser Verlust

bei Alabasterglas 15%
„ Opalglas . . 20%
„ Milchglas . 30—60%

Gehen wir noch einmal zu Fig. 51 (pag. 205) zurück, so zeigen die Curven *c* und *b*, erstere für eine Laterne aus mattgeschliffenem Glase, letztere für eine neue, in sich aber sehr wenig trübe Glassorte gültig, so recht den grossen Unterschied gegenüber der bei freier, unbedeckter Lampe erhaltenen Licht-Curve *a*. Man erkennt die grosse Verminderung des Lichtmaximums, welches bei der Milchglaslaterne, der besten in dieser Hinsicht, 50% beträgt. Ausserdem zeigt sich auch, dass die Lichtschwächung nicht an allen Stellen die gleiche ist, vielmehr erscheint die Lichtstärke an den Stellen schwächster Beleuchtung sogar etwas vermehrt bei Anwendung der Glasglocken. Bei Glocken aus Alabasterglas sollen diese Unterschiede noch deutlicher hervortreten.

Die Messungen, aus welchen die in Fig. 51 (pag. 205) dargestellten Lichtintensitäts-Curven erhalten wurden, ergeben folgende Zusammenstellung der Zahlenwerthe:

Art des Lichtes der Diff.-Lampe	Curve (in Fig. 51)	Lichtstärke in N. K.	Neigung der Richtung des Licht-Max. geg. d. Horizont
freies Licht	a	1976	35°
neue Sorte Glas	b	864	30°
Mattglaslaterne	c	941	30°
Alabasterglaskugel . . .		652	35°

Uebrigens ersieht man ferner auch noch aus den Curven, wie wenig ein über den Lampen angebrachter Reflector nutzen kann, da ohnedem nur ein sehr geringer Bruchtheil des gesammten Lichtes nach oben hin fällt, und der erzielte Effect in keinem Verhältniss mit den Unbequemlichkeiten und den Kosten des Reflectors stehen würde. Ohne Zweifel liegt ein grosser Vortheil der Anwendung

[11]) El. Z. IV p. 118, 1883.

gleichgerichteter Ströme gerade darin, dass die bei weitem grösste Menge Licht nach unten geworfen wird.

Nach Hefner's Angabe ist die von Wechselstromlichtern nach allen Richtungen hin gleichmässig ausgestrahlte Lichtstärke, bei gleichem Kraftaufwande der Maschinen, der horizontal gemessenen bei gleichgerichteten Strömen nahezu gleichkommend[12]), die gesammte von jenen gelieferte Lichtmenge ist also ausserordentlich viel geringer (nur $^1/_6$), als bei Gleichstromlichtern. Der Grund, weswegen aber v. Hefner-Alteneck trotzdem Wechselstrommaschinen empfahl, ist, dass letztere sicherer im Betriebe sind, weniger gleichmässig gehende Motoren, weniger intelligente Wartung, ferner auch weniger sorgfältig regulirende Lampen und nicht so reine Kohlenstäbe erfordern, als der Betrieb mit gleichgerichteten Strömen. Dem gegenüber steht aber einerseits der weit geringere Nutzeffect der Wechselstrom-Maschinen und -Lampen, sowie die ganz ungemein hohe Lebensgefährlichkeit der von ihnen gelieferten Ströme ihrer allgemeinen Anwendbarkeit hindernd entgegen.

§ 73. Lampen für Einzellicht. Contactlampe von Siemens & Halske (System v. Hefner-Alteneck).

Während die älteren elektrischen, sämmtlich nur für Einzellicht-Betrieb construirten Bogenlichtlampen, wie z. B. diejenigen von Foucault, Dubosq, Soleil, Serrin etc., einen äusserst complicirten, wenn auch zum Theil höchst sinnreich erdachten Mechanismus haben, bei welchen das Nachschieben resp. Entfernen der Kohlen gewöhnlich durch zwei von einander getrennte Uhrwerke bewirkt wurde, die je nach Bedarf durch den regulirenden, in der Lampe enthaltenen Elektromagneten eingeschaltet wurden, so zeichnen sich hingegen alle neueren Lampen für Einzellicht durch wesentlich vereinfachte Construction des Lampenmechanismus aus. Hauptsächlich ist diese Vereinfachung dadurch erzielt, dass man jetzt für das Annähern der Kohlenspitzen als bewegende Kraft das Gewicht der oberen Kohle an Stelle des früher allgemein verwendeten Federuhrwerkes benutzt, wobei die Anordnung dann gewöhnlich so getroffen wird, dass das Hinabgehen der oberen

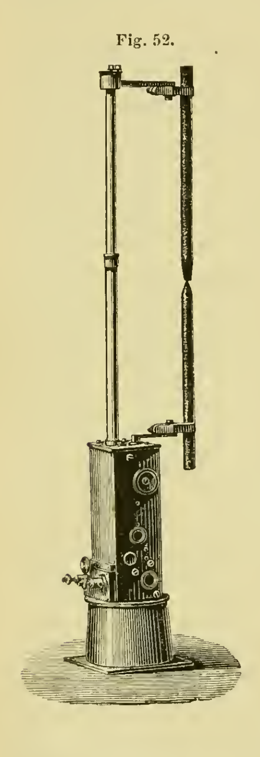
---

[12]) El. Z. IV p. 449, 1883.

Kohle ein gleichzeitiges Emporsteigen der unteren, mit der ersteren in passender Weise zusammengekuppelten Kohle bewirkt, während das Entfernen der Kohlen von einander durch den die Lampe speisenden Strom selbst geschieht.

Das Charakteristische für alle diese Lampen ist, das sie nicht etwa eine constante Bogenlänge, sondern gerade unter Veränderung des Widerstandes des Lichtbogens eine bestimmte Stromstärke herstellen.

Fig. 52.

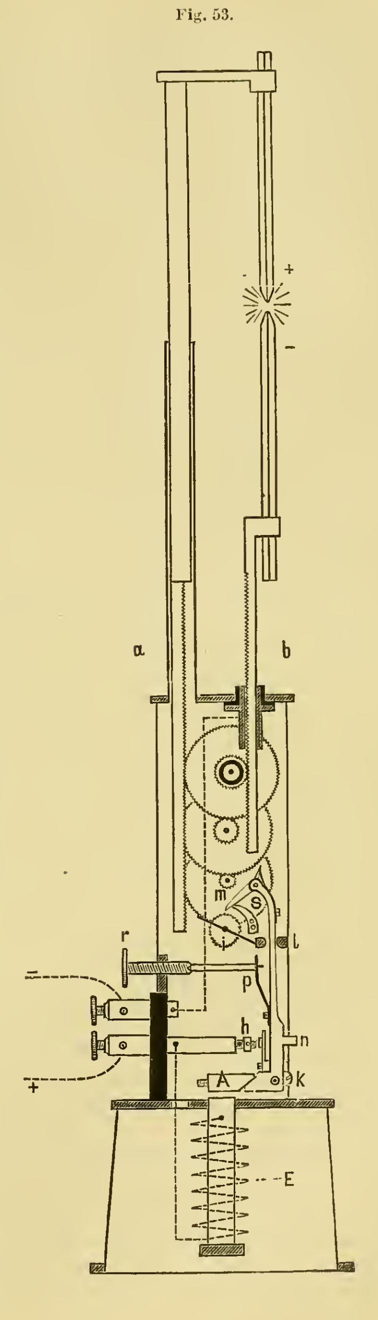


Einer der ausgezeichnetsten Repräsentanten dieser Klasse von Lampen ist die Contactlampe von Siemens & Halske. (System v. Hefner-Alteneck.) Fig. 52 zeigt deren perspectivische Ansicht, Fig. 53 den inneren Mechanismus[1]). Wie man aus letzterer Figur erkennt, greifen die Zahnstangen der beiden Kohlenträger in zwei verschieden grosse auf eine und dieselbe Axe aufgesetzte Räder und zwar an entgegengesetzter Seite ein, wodurch ein stets gleichzeitiges Verschieben beider Kohlen in entgegengesetztem Sinne zu einander erreicht wird. Der obere Kohlenhalter ist mit dem Gestell der Lampe in metallischer Verbindung, während der Halter der unteren Kohle, sowie das kleine Rädchen, in welches seine Zahnstange eingreift, durch Hartgummizwischenlagen vom Lampenkörper isolirt sind (vergl. Fig. 53). Nahe dem Fusse der Lampe sind Zuleitungsklemmen gleichfalls vom Lampengestell isolirt eingesetzt. Die obere derselben ist durch einen Drath mit dem Träger der unteren Kohle verbunden, während die andere, in der Figur mit + bezeichnete Zuleitungsklemme zu dem einen Ende der Drathumwindung des Elektromagneten E führt, deren anderes Ende an den Körper der Lampe angeschlossen ist. Denken wir uns zunächst die beiden

[1]) Die Beschreibung zum Theil entnommen aus Schellen's magnet- und dynamo-elektr. Maschinen. II. Aufl. p. 369, 1882.

Kohlen zur Berührung gebracht, so würde ein durch die beiden erwähnten Zuleitungsklemmen der Lampe ein- resp. austretender, elektrischer Strom eine geschlossene Strombahn von der mit + bezeichneten Klemme durch den Elektromagnetendrath, von dort durch den Körper der Lampe zur oberen Kohle vorfinden und von hier über die untere Kohle zu der mit — bezeichneten Klemme zurückkehren können. Sobald dies aber geschieht und der Elektromagnet mithin in Folge des durch seine Umwindungen hindurchgehenden elektrischen Stromes magnetisirt wird, wird der Eisenanker A, welcher den einen Arm des um k drehbaren Winkelhebels $n\,k\,A$ bildet, angezogen und somit der verticale Arm des letzteren nach links hinüber bewegt werden. Dieser Anziehung des Elektromagneten E auf den darüber befindlichen Anker A wird durch die am Winkelhebelarm $k\,n\,m$ angebrachte kleine Stahlfeder p entgegengewirkt. Letztere, deren Spannung durch die Regulirungsschraube r entsprechend der betreffenden, gewünschten Stromstärke variirt werden kann, sucht beständig den verticalen Arm des Winkelhebels nach Rechts hinüberzudrücken. Wird jedoch der horizontale Anker A angezogen, so dreht sich der Winkelhebel, und es legt sich ein

Fig. 53.



in Fig. 53 gleichfalls sichtbarer am unteren Ende des verticalen Armes des Winkelhebels angebrachter Federcontact gegen die das eine Ende der +Zuleitungsklemme bildende Contactschraube *h*. Dadurch ist dann der Umwindungsdrath des Elektromagneten nunmehr kurz geschlossen, letzterer verliert seinen Magnetismus, lässt den Anker *A* los, der Winkelhebel geht in Folge der Wirkung der Feder *p* zurück, der Contact *h* wird somit wieder unterbrochen, sodass jetzt wieder Strom im Elektromagnetendrath circulirt, der Anker *A* wieder angezogen wird und das Spiel von neuem beginnt.

Wenn also der elektrische Strom resp. der durch ihn im Elektromagneten *E* hervorgerufene Magnetismus bei einander berührenden oder, wenn die Lampe in Betrieb ist, hinreichend nahe einander gegenüberstehenden Kohlenspitzen kräftig genug ist, um die Spannung der Feder *p* zu überwinden, so wird der Anker *A* in oscillirende Bewegung so lange versetzt werden, als die Stromstärke resp. die Stärke des Magnetismus eine gewisse untere Grenze nicht überschreitet.

Diese hin- und hergehenden Bewegungen macht ein kleiner, auf die Verlängerung des verticalen Armes des mehrfach erwähnten Winkelhebels aufgesetzter Hebel *m* mit, welcher dabei stossweise auf das unterste, den Windfang tragende Rädchen einwirkt und dieses schrittweise in einer und derselben Richtung umdreht, was, wie aus Fig. 53 ersichtlich ist, ein langsames Entfernen der Kohlenspitzen von einander zur Folge haben wird: die obere Kohle steigt folglich empor, die untere bewegt sich abwärts. Je weiter aber sich dadurch die Kohlenspitzen von einander entfernen, desto grösser wird nun der Widerstand des Flammenbogens und desto schwächer der elektrische Strom, so dass die oscillirende Bewegung des Ankers und des Hebels *k n* bald wieder aufhört und der Hebel sich nun rechts an seinen Anschlag *l* anlegt.

Ist dies der Fall, so hebt der kleine, unterhalb von *m* angebrachte, feststehende Hacken *s* den kleinen Stösser *m* ganz aus den Zähnen seines Eingriffrädchens aus, worauf die Räder und die Kohlenhalter frei werden, so dass nun wieder das Uebergewicht des oberen Kohlenträgers zur Wirkung kommt: die Kohlen nähern sich wieder und zwar so weit, bis in Folge der damit verbundenen Zunahme der Stromstärke die oscillirende Bewegung des Ankers *A* und des Stosshebels *m* von neuem beginnt. Die Geschwindigkeit, mit

welcher die Kohlenspitzen in Folge des Sinkens des oberen Kohlenhalters sich gegenseitig nähern, wird durch den bereits erwähnten Windfang verringert, welcher letztere übrigens, damit der Anker bei seiner oscillirenden Bewegung nicht auch ihn noch mitzudrehen brauche, nur lose auf die Axe seines Rädchens aufgesetzt ist, und in Folge einer an eben dieser Axe angebrachten Sperrklinke nur in demjenigen Sinne mitgedreht wird, welcher dem Herabsinken der oberen Kohle entspricht.

Bei normalem Arbeiten der Lampe muss der Anker *A* resp. der um *k* drehbare Winkelhebel fortdauernd hin- und her oscilliren; ob das der Fall ist, kann man durch Anlegen des Fingers an den aus dem Gehäuse der Lampe herausragenden Knopf *n* constatiren. Die bei den Oscillationen eintretenden kleinen Bewegungen der Kohlen sind an diesen selbst nicht bemerkbar.

Erlischt nun etwa der Lichtbogen durch irgend welche Ursache einmal ganz, so laufen sofort die Kohlenspitzen zusammen und werden nach eingetretener Berührung durch die anziehende Wirkung des Elektromagneten *E* auf den Anker *A* und dessen Wirkung auf den Stosshebel *m* wieder von einander entfernt, wobei sich der Lichtbogen von neuem bildet und eine durch die Spannung der Abreissfeder *p* bedingte Länge annimmt.

Soll der Flammenbogen trotz des Abbrennens der Kohle seine Lage im Raum, wie das z. B. zu Projectionsversuchen bei Vorlesungen erforderlich ist, dauernd beibehalten, so muss das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen sich die beiden Kohlen bewegen, gleich 2 : 1 sein, die mit dem positiven Pole der Elektricitätsquelle verbundene (obere) Kohle hat die doppelte Geschwindigkeit der negativen zu erhalten.

Während der Thätigkeit der Lampe ist ein Aufziehen derselben nicht nöthig. Am Contact *h* treten keine oder wenigstens nur kaum merkliche Funken während des Functionirens der Lampe auf, so dass er dauernd in gutem Zustande erhalten bleibt. Hat man gute, nicht siliciumhaltige Kohlen zur Verfügung, ist die Lampe gut regulirt und in verständigen Händen, so kann sie stundenlang brennen, ohne das geringste Schwanken des Lichtes zu zeigen.

Der obere in Fig. 52 am Gehäuse des Lampenwerks sichtbare Knopf ist auf die Axe des als Kuppelung für die beiden Kohlenhalter dienenden Radpaares aufgesetzt. Er erlaubt, wenn das Räder-

werk der Lampen desarretirt ist, die beiden Kohlenspitzen beliebig mit der Hand zu nähern oder von einander zu entfernen resp., wenn man ihn tiefer hineindrückt und dadurch die Kuppelung der beiden Kohlenhalter gelöst hat, der unteren Kohlenspitze eine gewünschte Stellung zu geben.

Die Regulirungsschraube *r* (Fig. 53), welche die Spannung der Abreissfeder *p* zu ändern gestattet, ist nach links herum zu drehen, wenn der bei *n* hervorsehende Knopf des verticalen Arms des Winkelhebels dauernd d. h. ohne zu vibriren in seiner äussersten Stellung nach aussen verharrt. Ein Drehen der Regulirungsschraube nach Links bewirkt den vorhergehenden Auseinandersetzungen zufolge ein weiteres Auseinandergehen der Kohlenspitzen. Liegt hingegen *n* in seiner äussersten Stellung innen fest, ohne zu vibriren, so hat die Federspannung durch Rechtsdrehen der Regulirungsschraube verringert zu werden.

Der bei *k* herausschauende Schraubenknopf dient zur groben Regulirung der Ankerstellung und hat nur dann benutzt zu werden, wenn man durch Aenderung der Spannung der Abreissfeder *p* vermittelst der Regulirungsschraube *r* keine Stellung weder bei Drehung von *r* in einem noch in anderem Sinne finden kann, bei welcher die Lampe tadellos brennt. Ob dies letztere der Fall ist oder nicht, erkennt man leicht, wenn man durch Auseinanderdrehen der Kohlen mit der Hand den Flammenbogen zum Verlöschen bringt, die Lampe muss alsdann, sich selbst überlassen, ohne weitere Nachhilfe den elektrischen Lichtbogen von selbst sofort wieder herstellen.

Das Spiel dieser Art Einzellicht-Lampen besteht hiernach darin, dass, wenn die Kohlen abbrennen oder die Stromstärke nachlässt, das Gewicht des oberen Kohlenhalters die Oberhand gewinnt und die Kohlen zusammentreibt, dass aber, wenn der Strom zu stark wird, der vom Strom getriebene Hülfsapparat die Kohlen auseinandertreibt. Hierbei hat jener Apparat den Druck einer Feder oder eines Gewichtes zu überwinden. Die Wirkung des Apparates ist also abhängig von der Stromstärke, und es tritt daher das Gleichgewicht dann ein, wenn die Stromstärke einen bestimmten Werth angenommen hat, bei welchem die Kraft des Hülfsapparates eben gleich dem Drucke jener Feder oder jenes Gewichtes ist; mit anderen Worten: die Lampe regulirt auf gleiche Stromstärke.

Fassen wir das Princip der eben besprochenen Lampenregulirung und der ähnlichen Lampen neuerer Construction in wenigen Worten zusammen[2]), so müssen wir sagen: Das Gewicht des oberen Kohlenträgers sucht die Kohlen zusammenzutreiben; dem entgegen wirkt die Kraft des Stromes durch Vermittelung eines Elektromagneten oder eines anderen Hülfsapparates, welcher die Kohlen auseinander zu treiben strebt; die Lampe ist im Gleichgewicht, wenn beide Kräfte gleich gross sind.

Aber solche Lampen sind nur für Einzelbetrieb brauchbar, sie sind ganz ungeeignet, zu mehreren in Hintereinander- oder Nebeneinanderschaltung angeordnet, in einem und demselben Stromkreise verwendet zu werden, da ja, wie v. Hefner-Alteneck[3]) hervorhebt, ein brauchbares elektrisches Licht mit solchen Lampen nur dann würde erzielt werden können, wenn die betreffende Stromstärke, für welche jene Lampen reguliren, auch immer bei dem gleichen Widerstande des Lichtbogens eintritt, d. h. wenn die elektromotorische Kraft der Stromquelle und die Widerstände und sonstigen Vorgänge im Stromkreise constant sind. Nun aber kann offenbar bei Einschaltung mehrerer Lampen in einen Leitungskreis der Strom sehr wohl die nämliche Stärke beibehalten bei sehr verschiedenen Längen der einzelnen Lichtbögen, wenn eben nur die Summe der Widerstände aller Lichtbögen die gleiche bleibt.

Eine regulirende Thätigkeit der einzelnen Lampe wäre daher in diesem Falle unmöglich, eine jede durch den Lichtbogen einer Lampe hervorgerufene Stromschwankung würde auch den Mechanismus einer zweiten in denselben Stromkreis eingeschalteten Lampe zu unzeitiger Thätigkeit veranlassen, d. h. die Theilbarkeit des elektrischen Lichtes unter Anwendung derartiger Regulatoren ist unmöglich.

§ 74. Theilung des elektrischen Lichtes durch Anwendung Jablochkoff'scher Kerzen.

Die Unmöglichkeit, Lampen der soeben besprochenen Art zur Theilung[1]) des elektrischen Lichts zu verwenden und eine

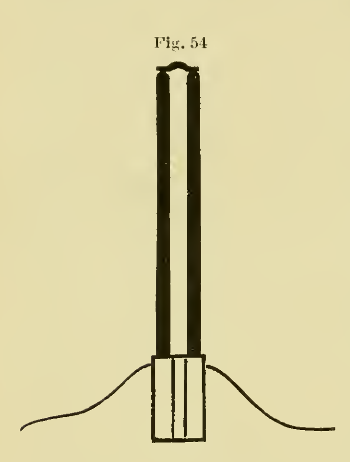
[2]) Dr. O. Frölich, El. Z. III p. 139, 1882.

[3]) v. Hefner-Alteneck, El. Z. I p. 84, 1880.

[1]) Wir verstehen unter „Theilung des elektrischen Lichtes“ ausschliesslich die Einschaltung mehrerer Lichter in einen und denselben Stromkreis.

grössere Anzahl derselben in einem und demselben Stromkreise mittelst einer einzigen Dynamomaschine zu betreiben, veranlasste den russischen Ingenieur Paul Jablochkoff auf einem total anderen Wege die Lösung des Problems zu versuchen. Er ging davon aus, dass bei Anwendung von Wechselströmen ein gleich rasches Abbrennen der Kohlenstifte eintrete, und dass es demnach möglich sein müsse, bei Anwendung derartiger Ströme jeglichen Regulirungsmechanismus der Lampen zu entbehren, wenn man nur im Gegensatz zu der bisher bei den elektrischen Lampen stets angewendeten Uebereinanderstellung der Kohlen, dieselben nun genau parallel nebeneinander stellte und es erreichen könne, dass der Lichtbogen immer an dem freien Ende der Kohlenstäbe verharre.

Fig. 54



Dieses letztere gelang ihm dadurch zu erreichen, dass er seine „elektrische Kerze“ aus 2 parallel nebeneinander stehenden dünnen (etwa 3 mm dicken) Kohlenstäbchen mit einer sie trennenden Zwischenlage von Gyps bildete. Die Entzündung des Lichtbogens wird dabei eingeleitet durch ein kleines, dünnes Kohlenplättchen, welches auf den oberen Enden der Kohlenstäbchen aufliegend diese zunächst überbrückt (Fig. 54), bei Eintritt des elektrischen Stromes aber sofort verbrennt und so den Lichtbogen an dem Ende der Kerze einleitet. Hat sich dieser einmal gebildet, so verharrt er dauernd an dem äussersten Ende der Jablochkoff'schen Kerze, und da der als Zwischenlage der Kohlenstifte dienende Gyps in stark glühendem Zustande leitend wird und so einen Nebenschluss zum eigentlichen Lichtbogen bildet, so ist es hierdurch möglich, einerseits einen viel längeren Lichtbogen, als sonst bei Wechselströmen thunlich ist, zu erhalten, anderseits aber wird auch aus eben diesem Grunde bei Anwendung derartiger elektrischer Kerzen der Lichtbogen viel weniger von Schwankungen der Stromstärke afficirt werden, als das der Fall sein würde, wenn der Lichtbogen direct in Luft überginge.

In der That gelang es nun Jablochkoff, mit Hülfe solcher

elektrischer Kerzen (1876) zuerst das Problem der Theilung des elektrischen Lichtes in befriedigender Weise zu lösen. Praktisch wurde diese Art der Beleuchtung in Paris im Winter 1877/78 erprobt; als Stromgeneratoren dienten bei Jablochkoff's älteren Versuchen die sogenannten Alliance-Maschinen, an deren Stelle dann später die Wechselstrom-Maschinen von Gramme und von Siemens & Halske traten. Wir haben bereits in § 10 (pag. 27) gesehen, dass jede zwischen den Polen eines permanenten Magneten in passender Weise zur Rotation gebrachte in sich geschlossene Spirale Wechselströme inducirt erhält. Würde man demnach die Enden der gedachten Spirale mit zwei auf die Rotationsaxe aufgesetzten, von einander isolirten Metallringen verbinden, auf welchen Contactbürsten schleifen, so würde man in einem diese letzteren verbindenden Drathe Wechselströme erzeugt erhalten. Eine solche Maschine kann sich indess offenbar nicht dynamoelektrisch anregen, und es ist deshalb eine Hülfs-Dynamomaschine erforderlich, welche die das magnetische Feld der Hauptmaschine erzeugenden Elektromagnete magnetisirt. Zwischen den Polen der letzteren rotiren alsdann diejenigen Spiralen, welche die Wechselströme liefern sollen. Fig. 55 zeigt die Wechselstrommaschine von Siemens & Halske nebst der kleinen Hülfs-Dynamomaschine. Beide werden mit Hülfe zweier, auf dieselbe Welle der Betriebsmaschine aufgesetzter Riemenscheiben bewegt.

Diese Art Maschinen bieten erstens den Vortheil, dass sie keinen Commutator haben, zweitens dass man die einzelnen Drathwindungen des Inductors sowohl beliebig unter sich zu einem einzelnen als auch in jeder gewünschten Schaltung zu verschiedenen Stromkreisen vereinigen kann; hingegen haben sie gegenüber den gleichgerichtete Ströme liefernden Dynamomaschinen den Nachtheil, dass sie beim Betriebe von Bogenlampen für gleichen Kraftaufwand erheblich weniger Licht[2]) liefern und ausserdem zu ihrem Betriebe eine Hülfs-Dynamomaschine mit gleichgerichtetem Strom erfordern, wodurch alle Mängel dieser letzteren Maschinenklasse, wie das Entstehen von Funken am Commutator, geringere Betriebssicherheit u. dergl. sich auch auf die Gesammtanlage direct übertragen[3]).

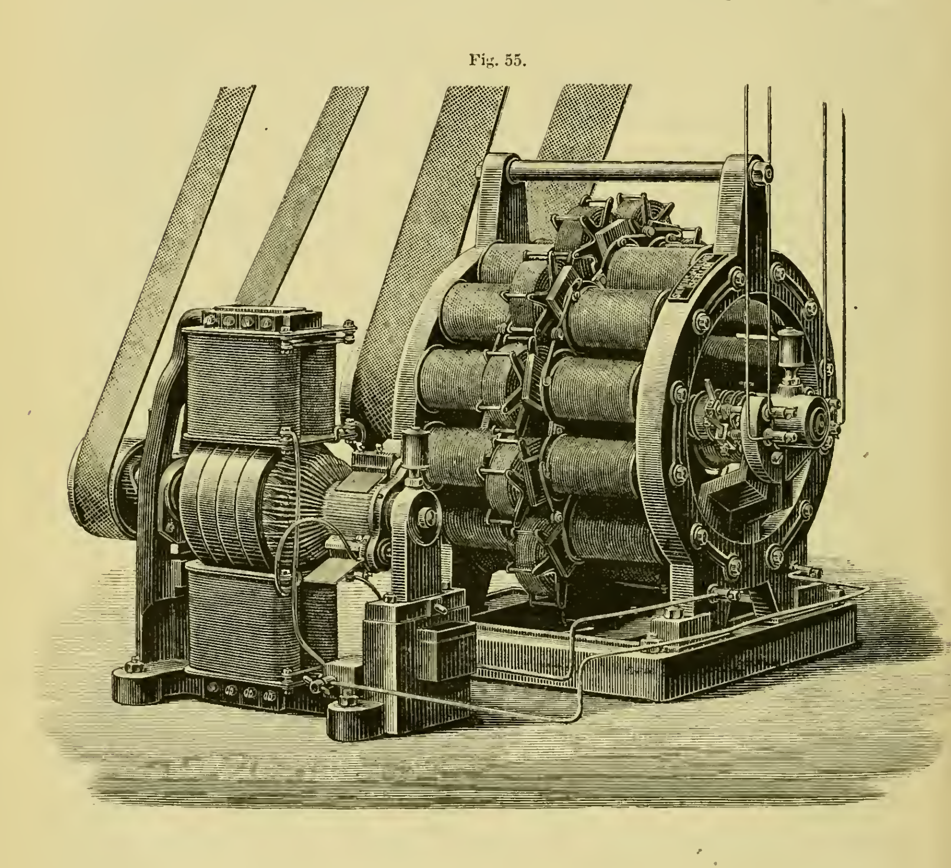
---

[2]) Vgl. p. 213.

[3]) O. v. Miller, Münch. off. Ausstellgs.-Ber. Th. I p. 87.

Ohne Zweifel war das vollständige Fehlen einer Regulirvorrichtung an den Jablochkoff'schen Kerzen einer der Hauptvorzüge seines Systems, dem gegenüber das spätere Zurückgehen auf Regulirmechanismen in den jetzt zur Theilung des elektrischen Lichtes verwendeten v. Hefner'schen oder diesen nachgebildeten Differentiallampen vom theoretischen Standpunkt aus als

Fig. 55.



Rückschritt bezeichnet werden muss. Indess praktisch haben sich so viele Mängel bei der Anwendung der Jablochkoff'schen Kerzen herausgestellt, dass man nothgedrungen wieder von ihnen abgehen musste; in der That war man ja auch in Paris bald wieder von ihrer Verwendung zur Strassenbeleuchtung (rue de l'Opéra) zurückgetreten. Der Hauptmangel der elektrischen Kerzen ist der, dass

eine einmal erloschene Kerze sich nicht wieder von selbst entzünden kann, und dass das Verlöschen einer einzelnen Kerze im Stromkreise gleichzeitig auch das aller anderen in dem nämlichen Stromkreise liegenden mit sich führt. Die dadurch bedingte Unsicherheit des Betriebes schloss naturgemäss eine weitgehende Theilung des elektrischen Lichtes aus, und es empfahl sich daher auch nicht, mehr als etwa 4 Kerzen[4]) in einen Stromkreis zu legen. Allerdings könnte man durch einen leicht anzubringenden elektromagnetisch auslösbaren Contact, wie er bei den Andrews'schen[5]) Lampen Verwendung findet, ein selbstthätiges Wiederanzünden verlöschender Jablochkoff'scher Kerzen erreichen und so den eben gerügten Mangel beseitigen, indess würde dann immer noch ihre höchstens nur anderthalbstündige Brenndauer, die ein Unterbringen mehrerer, nach einander zu verwendender Kerzen in einer Lampe nach sich zieht, sehr hinderlich ihrer ausgedehnten Anwendung im Wege stehen. Da nun ausserdem jede Theilung des elektrischen Lichts nothwendiger Weise mit Kraftverlust verknüpft ist und, wie bereits erwähnt, Wechselstromlichter im Betriebe weit weniger ökonomisch sind als Bogenlichtlampen, die von gleichgerichteten Strömen gespeist werden, so ist klar, dass jedenfalls eine Theilung des Lichtes, welche Lampen der letzteren Art zu benutzen gestattet, den Vorzug verdienen wird. Leider sind wir dann aber gezwungen, wieder auf Lampen mit Regulirmechanismen zurückzugehen.

§ 75. Theilung des elektrischen Lichtes durch v. Hefner-Alteneck's Differential-Lampen.

Die Lösung der Aufgabe, Gleichstrom-Lampen für getheiltes Licht zu construiren, verdanken wir Hrn. v. Hefner-Alteneck. Es bedurfte hierzu der Auffindung eines Regulirmechanismus, der sich auf vollkommen andere Principien zu stützen hatte, als der bei den sog. Einzellicht-Lampen bisher stets in Anwendung gebrachte. Diese letzteren waren, wie wir (Seite 218) gesehen haben, dadurch charakterisirt, dass sie auf constante Stromstärke regulirten, und gerade aus diesem Grunde war es unmöglich, mehrere der-

---

[4]) v. Hefner-Alteneck, El. Z. I p. 85, 1880.

[5]) J. Dredge, Electric Illumination Vol. I p. 480.

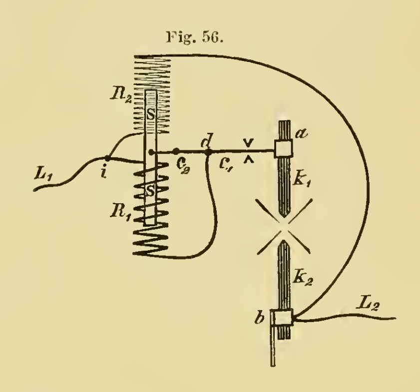
selben gleichzeitig in einen und denselben Stromkreis einzuschalten, eben weil diese Lampen von Widerstandsänderungen im äusseren Stromkreise nicht unabhängig sind, so zwar, dass jede durch den Lichtbogen einer Lampe hervorgerufene Stromschwankung auch sofort den Mechanismus einer zweiten in demselben Stromkreise enthaltenen Lampe störend beeinflussen würde. Es kann eben sehr wohl die Gesammtsumme des Widerstandes aller Lichtbögen, die zu einem Stromkreise gehören, constant geblieben sein und doch der Widerstand resp. die Länge der einzelnen Lichtbögen sich geändert haben. Demnach wäre die Bedingung, ein brauchbares, elektrisches Licht vermittelst mehrerer auf gleiche Stromstärke regulirender Einzellicht-Lampen, die in einen Stromkreis eingeschaltet sind, zu erhalten, wesentlich die, dass der Lichtbogen eine constante Länge in jeder Lampe, mithin also einen constanten Widerstand behalten müsste, und diese Bedingung können jene Lampen nicht erfüllen, da sie ja in Folge ihres Regulirmechanismus ausschliesslich auf constante Stromstärke gerade durch Widerstandsänderung des Lichtbogens reguliren. Hingegen besteht das der v. Hefner-Alteneck'schen Differential-Lampe zu Grunde liegende Princip, sowie das aller nach ihrem Vorbild construirten ähnlichen Lampen darin, dass sie auf gleichen Widerstand des Lichtbogens reguliren. Es wird dies ermöglicht durch die sogenannte Nebenschlussschaltung, indem nämlich eine dünndrathige zum Einandernähern der Kohlenspitzen bestimmte Rolle als Nebenschluss zum Lichtbogen selbst angewendet wird, während das Auseinandertreiben der Kohlen durch eine dickdrathige, in den Hauptstrom gelegte Spirale herbeigeführt wird. Während also bei den Lampen für Einzellicht die Annäherung der Kohlen auf mechanische Weise und unabhängig von den elektrischen Vorgängen bewirkt wurde, ist sie bei der v. Hefner'schen Differential-Lampe eine elektrische, durch die Anziehung einer Nebenschluss-Spirale hervorgebrachte.

Fig. 56 zeigt das Schema des Stromlaufs und Fig. 57 (pag. 228) die innere Construction der 1879 von v. Hefner erfundenen Differential-Lampe. In beiden Figuren sind der Uebersichtlichkeit wegen die gleichen Bezeichnungen gewählt.

R_1 ist eine dickdrathige, R_2 eine dünndrathige Rolle, beide sind bei i (Fig. 56) mit einander und mit der Zuleitungsklemme des

Stromes zur Lampe verbunden. Innerhalb beider kann der Eisenstab $S S$, welcher an das eine Ende des um d drehbaren, zweiarmigen Hebels $c_1\ c_2$ angehängt ist, sich auf- und abpendelnd hin und her bewegen, während die vom anderen Ende des Hebels $c_1\ c_2$ getragene obere Lampenkohle k_1 dieselben Bewegungen mitmachen wird. Das freie Ende der Spirale R_1 führt zur Drehungs-Axe des Doppelhebels $c_1\ c_2$, während das freie Ende der dünndrathigen Spule R_2 durch einen Drath mit dem Halter der unteren Kohle fest verbunden ist. Die obere Kohle hängt in dem am Hebelarm c_1 angebrachten Halter a. Das gemeinsame Gewicht dieser beiden letzteren ist durch das des Eisenstabes $S S$ möglichst genau compensirt, so dass der Hebelarm $c_1\ c_2$ in jeder beliebigen Stellung im Gleichgewicht ist. Es erfolgt somit die Regulirung des Lichtbogens einzig und allein durch die Differenz der Wirkungen der elektrischen Ströme in den beiden Drath-Spulen R_1 und R_2. Da ferner die dünndrathige Spirale einen Nebenschluss zu dem den Lichtbogen enthaltenden Hauptstrom bildet, so ist die Stromstärke in diesen beiden Zweigen umgekehrt proportional ihren jeweiligen Widerständen.

Fig. 56.



Die Wirkungsweise ist folgende[1]): Angenommen der bei L_1 (Fig. 56) eintretende Strom finde die Kohlenstäbe in beliebiger Stellung zu einander vor, beispielsweise weit von einander getrennt. In diesem Falle kann er nur durch die dünndrathige Spule R_2 hindurchgehen, da der andere, die dickdrathige Spirale R_1 enthaltende Zweig an der Trennungsstelle der Kohlenstäbe unterbrochen ist. Die Spule R_2 wird also den Stab S in sich hineinziehn und bringt hierdurch die Seite c_1 des Hebels $c_1\ c_2$ in ihre unterste Stellung. Da aber der Halter der oberen Kohle nicht fest mit dem Ende des Hebelarmes c_1 verbunden, sondern in der Art mit

[1]) Entnommen aus v. Hefner-Alteneck's Aufsatz: „Ueber die Theilung des elektrischen Lichtes", El. Z. I p. 86 u. 103, 1880.

ihm verkuppelt ist, dass die Verbindung aufhört, sobald der Hebelarm c_1 in seine unterste, durch einen Anschlag bestimmte Lage gelangt, so löst sich nun der obere Kohlenhalter von dem Hebelarm c_1 los und sinkt langsam herunter, bis die Berührung der beiden Kohlen eintritt. In demselben Moment wird der Zweig, in welchem sich die dünndrathige Spule R_2 befindet, fast stromlos, so dass nun fast der volle Strom durch die dickdrathige Spirale R_1 fliesst, und jetzt deren Anziehung auf den Eisenstab S bei weitem überwiegt und ihn kräftig abwärts zieht. Hierdurch hebt sich nun wieder der Hebelarm c_1 und, sobald das geschehen, stellt sich die vorher gelöste Kuppelung zwischen ihm und dem Kohlenhalter a wieder her, die Kohlenstäbe gehen auseinander, und der Lichtbogen wird entzündet.

In Folge des auf diese Weise zum Stromzweige R_1 hinzukommenden Lichtbogen-Widerstandes, welcher bekanntlich mit der Länge des Bogens zunimmt, wird die Stromstärke in der dünndrathigen Spirale R_2 nun wieder wachsen, bis bei einem bestimmten Widerstande des Lichtbogens sich die von den beiden Spiralen R_1 und R_2 auf den Stab S ausgeübten Anziehungen das Gleichgewicht halten.

Es brennen hierauf die Kohlenstäbe langsam ab, während sich die gleiche Länge des Lichtbogens immer wieder herstellt, indem nur die Gleichgewichtslage bei einer entsprechend höheren Stellung des Eisenstabes eintritt, und es steigt somit der Hebelarm c_2 langsam in die Höhe, während der andere, den oberen Kohlenhalter tragende Hebelarm c_1 sich senkt. Ist letzterer hierbei schliesslich bis in seine unterste Stellung gelangt, so löst sich wiederum seine feste Verbindung mit dem Kohlenhalter, derselbe beginnt langsam abwärts zu sinken, jedoch nur sehr wenig, da die eintretende Verkürzung des Lichtbogens wieder das Aufwärtsgehen des Hebelarms c_1 zur Folge hat, und sich hierbei die Kuppelung zwischen ihm und dem oberen Kohlenhalter sofort wieder herstellt. Von nun ab spielt der Eisenstab S nahezu in seiner höchsten, der Hebelarm c_1 nahe seiner untersten Lage nur um ein Geringes auf und ab, wobei in kurzen Intervallen die obere Kohle k_1 um so viel nachrutscht, als zum Ausgleiche der Verbrennung der Kohlenstäbe nöthig ist. Gleichzeitig rückt, da die untere Kohle feststeht, dem Abbrennen derselben entsprechend, der Ort des Lichtbogens allmälig tiefer.

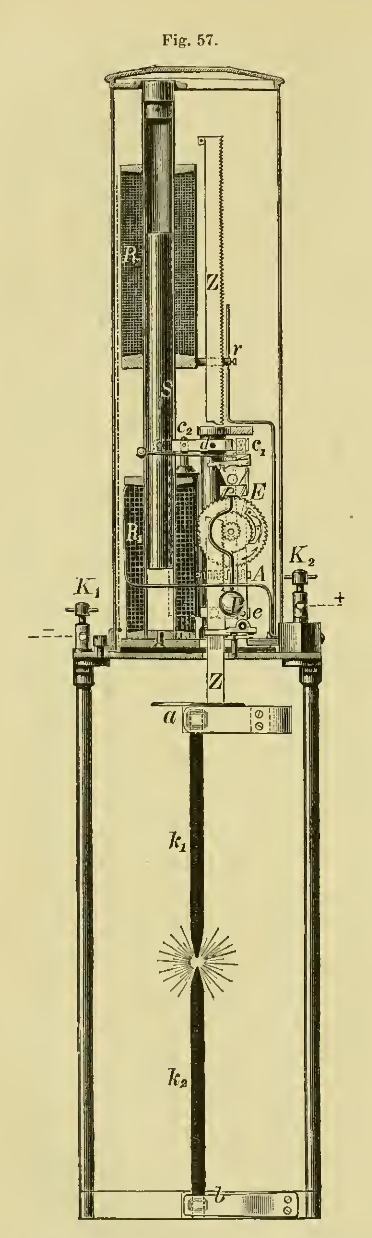
Wird etwa durch irgend welchen Vorgang im Stromkreise ausserhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dies an sich in der Lampe keinerlei Bewegung hervor, weil dabei die Stromstärken in beiden Zweigen um ein gleiches Vielfaches ihrer früheren Stärke ab- oder zunehmen, so dass die Summe ihrer auf den Eisenstab S ausgeübten Anziehungen nach wie vor gleich Null und das Gleichgewicht ungestört bleibt.

Für die Grösse des Widerstandes, auf welchen der Lichtbogen gebracht wird, ist das Verhältniss der Wirkungen von R_1 und R_2 auf den Stab S maassgebend. Dieselbe wird bestimmt durch geeignete Auswahl des Widerstandes und der Zahl der Umwindungen auf den beiden Spulen, oder auch, indem man den Stab S in die eine der Spiralen mehr oder minder tief eintauchen lässt. Zu diesem Zwecke kann die obere Spirale (vergl. Fig. 57) in eine höhere oder tiefere Stellung gebracht und in dieser festgeklemmt werden.

Während nun bei den früheren elektrischen Lampen die Regulirung nicht unabhängig von der Stromstärke ausserhalb der Lampe war, sondern wesentlich davon beeinflusst wurde, und somit die gleichzeitige Einschaltung mehrerer Lampen in ein Stromnetz also nicht zulässig war, so wird hier die Einschaltung mehrerer Differential-Lampen in einen Stromkreis dadurch ermöglicht, dass jede Lampe unabhängig von der anderen ihren Lichtbogen auf einen genau gegebenen Widerstand einstellt. Ist dies der Fall, so erhält dadurch auch jeder Lichtbogen gleichzeitig eine ganz bestimmte Länge und ganz bestimmte Lichtstärke, und es ist somit das Problem der Theilung des elektrischen Lichtes unter Anwendung von elektrischen Regulatoren durch die v. Hefner-Alteneck'schen Differential-Lampen wirklich praktisch gelöst.

Ferner wenn bei dem Betriebe mehrerer Lampen in einem Stromkreise an einer Lampe die Kohlenstäbe abgebrannt sind, so würde der Stromkreis zwar trotzdem noch durch die dünndrathige Spirale R_2 der betreffenden Lampe geschlossen bleiben, indessen durch deren grossen Widerstand eine solche Schwächung erfahren, dass die übrigen Lampen nicht recht brennen würden. Es ist deshalb in jeder einzelnen Lampe ein Contact angebracht, welcher sie bei etwaigem Verlöschen sofort selbstthätig aus dem Stromkreise ausschaltet, wodurch die Gefahr unzeitigen Versagens der übrigen Lampen der Beleuchtungs-Anlage wesentlich verringert wird.

Fig. 57.

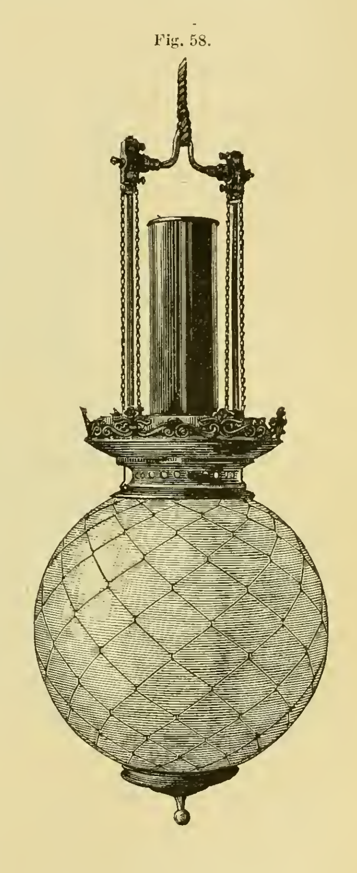


Die Anordnung und das Ineinandergreifen der einzelnen Theile der v. Hefner-Alteneck'schen Differential-Lampe ist aus Fig. 57 leicht ersichtlich. Der den oberen Kohlenstab k_1 tragende Halter a ist an einer Zahnstange Z befestigt; dieselbe ist, wie bereits zuvor bemerkt, nicht fest mit dem Ende des Hebelarms c_1 verbunden, sondern findet ihre Führung in einem Theile A, welcher oben am Ende von c_1 angehängt und unten durch eine Stange e so geführt wird, dass er sich bei dem Auf- und Abschwingen von c_1 c_2 nur mit sich selbst parallel auf- und abbewegen kann. Die Zahnstange Z kann übrigens an dem Theile A nur langsam abwärts gleiten, da sie beim Niedergange zugleich ein kleines in das Echappement E eingreifendes Steigrad mitnehmen und dadurch das Pendel P in Bewegung setzen muss. Alle diese Theile sind an dem Stücke A angebracht und bewegen sich mit ihm auf und ab.

Die Stange des kleinen Pendels P setzt sich nach oben hin über seine Axe E hinaus fort und drückt, wenn A seine höchste Stellung einnimmt, gegen einen kleinen um A drehbaren Hebel an, resp. legt sich mit einem kleinen Einschnitt an ihm fest, wodurch das Räderwerk gehemmt, und die Zahnstange Z mit dem Stück A fest verkuppelt wird. Wenn dagegen das Stück A und damit auch der

soeben erwähnte Hebel sich seiner untersten Stellung nähert, so wird der letztere durch einen an dem Gestelle der Lampe festsitzenden Stift ausgehoben und hierdurch das Echappement E sowie die Zahnstange Z vom Stücke A freigemacht, so dass nun das Herabsinken des oberen Kohlenhalters Z eintreten kann. Nahe der Zuleitungsklemme K_2 ist der automatisch wirkende, zuvor erwähnte Ausschalte-Contact in Fig. 57 sichtbar. Fig. 58 zeigt die fertig zusammengestellte Lampe; die zu deren Schutz angebrachte Alabaster-, Opal- oder Milchglasglocke ist durch zwei über Röllchen laufende Ketten mit einem in der Krone der Lampe verborgenen Gegenwicht verbunden und lässt sich herabziehen, um neue Kohlen einzusetzen. Der Lampenmechanismus selbst ist nach oben gelegt, damit er nach unten hin keinen Schatten wirft. Eine etwas veränderte Form haben die Laternen, welche im Freien brennen und gegen Regen geschützt sein müssen.

Fig. 58.



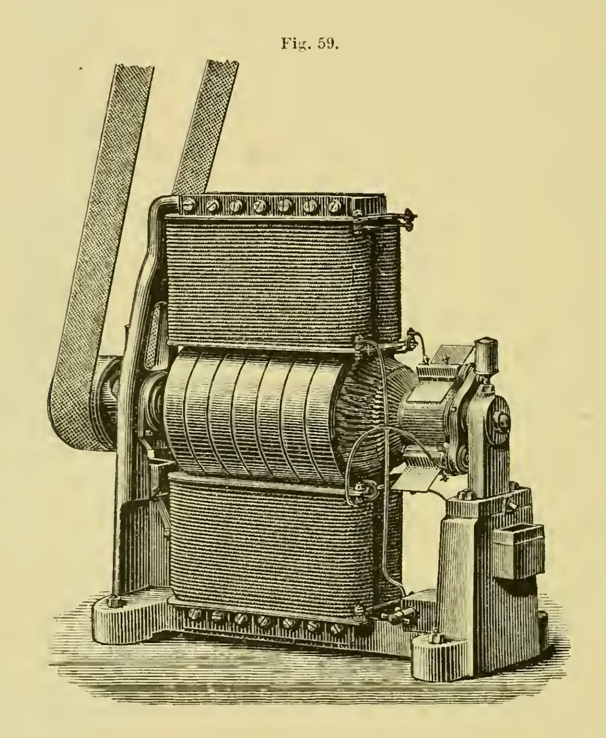
Zum Betriebe der Differential-Lampen können ebensowohl die ursprünglich für Jablochkoff'sche Kerzen construirten Wechselstrommaschinen (Fig. 55 pag. 222) dienen, wie auch die gleichgerichtete Ströme liefernden Dynamomaschinen verwendet werden, welche Siemens & Halske neuerdings der kleineren dann erforderlichen Bodenfläche wegen aufrecht bauen (Fig. 59).

Verfügt man nun über eine Stromquelle von entsprechender Spannung, einerlei ob dieselbe gleichgerichtete oder Wechsel-Ströme liefert, so kann man eine Anzahl von Lampen in denselben Stromkreis je nach den Widerstandsverhältnissen hinter- oder nebeneinander schalten, ja man kann selbst beide Schaltungsmethoden gleichzeitig für die nämliche Stromquelle in Verwendung bringen und gewinnt dadurch die Möglichkeit, entsprechend den in

diesen verschiedenen Theilen vorhandenen verschiedenen Stromintensitäten, Lichter von sehr verschiedener Stärke zu erzeugen. So würden z. B. bei der durch beistehende Fig. 60 angedeuteten Schaltung die Lampen L_1, L_2, L_3 das stärkste Licht geben, schwächeres Licht geben zunächst die Lampen L_4 und L_5 und das schwächste Licht endlich die Lampen L_6, L_7 und L_8.

Die Anzahl von Differential-Lampen, die auf solche Weise hintereinander in einen einzigen Stromkreis eingeschaltet werden

Fig. 59.



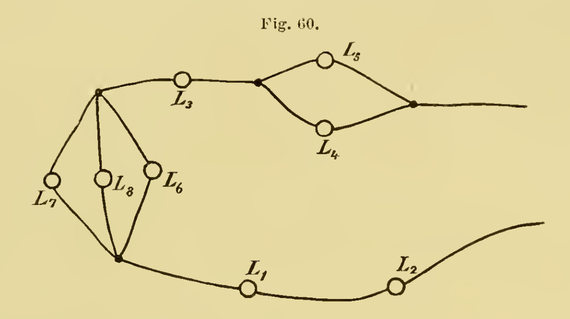
können, ist sehr gross und nur begrenzt 1) durch die Höhe der Spannung, auf welche man die Stromquelle einrichten muss, 2) durch die daraus entstehende Gefahr des Durchschlagens der Umwindungsdräthe der Maschine sowie durch die eventuelle Lebensgefährlichkeit bei Berühren der Maschinen und Leitungstheile.

Im Anschluss an das Vorstehende bemerkt v. Hefner-Alteneck, dass derjenige Stromzweig, welcher bei der Differential-Lampe die dünndrathige Nebenschlussspule R_2 enthält, natürlich

für die Lichtwirkung verloren geht, dass hingegen dieser Verlust so ausserordentlich gering ist, dass er gänzlich unmerkbar und photometrisch nicht nachweisbar ist. Es wird dies begreiflich, wenn man den kleinen Unterbrechungsfunken, welchen der nur schwache Strom in der Nebenschlussspirale R_2 erzeugt, beobachtet und sich klar macht, dass höchstens nur dessen geringe Leuchtkraft dem elektrischen Bogenlicht verloren geht.

Zum Schluss wollen wir noch erwähnen, dass alle seit 1880 construirten Bogenlichtlampen das von Hefner-Alteneck seinen Differential-Lampen zu Grunde gelegte Princip angenommen haben. Die etwa bestehenden Unterschiede beruhen einzig und allein in der verschiedenen Construction der lösbaren Kuppelung der Kohlen mit dem Lampenwerke, resp. in unwesentlichen, rein

Fig. 60.



äusserlichen Abweichungen einzelner Theile. Ob z. B. zwei getrennt stehende Rollen R_1 und R_2, deren Differenzwirkung die Stellung des Eisenstabes S bedingt, angewendet werden, wie das v. Hefner-Alteneck in seiner Lampe thut, oder ob man statt dessen nur eine Spule nimmt, die man zunächst mit einigen Lagen dicken und darüber mit vielen Lagen dünnen Drathes bewickelt (Brush), oder ob man gar einen wesentlichen Vortheil darin sieht, abwechselnd dünnen, dann dicken, um zum Schluss wieder dünnen Drath aufzuwickeln, und, anstatt Eisenkerne in Spulen hineinziehen zu lassen, einen Anker verwendet, welcher von einem Elektromagneten angezogen wird, der in der angegebenen Weise mit dreifacher Drathlage umwickelt ist (Weston), ist theoretisch wie praktisch vollkommen irrelevant und im Grunde doch auch stets aus keinem anderen Grunde geschehen, als um Patentconflicte zu vermeiden.

Capitel II.

Die Entwicklung der elektrischen Bogenlicht-Beleuchtung in Amerika.

§ 76. Die wichtigsten Bogenlicht-Gesellschaften der vereinigten Staaten.

Kaum etwas Anderes zeigt so sehr die principielle Verschiedenheit des amerikanischen und des europäischen Volkscharakters als die Art und Weise, mit welcher die Einwohner beider Welttheile Neuerungen gegenübertreten. Ist es doch gerade, als ob die amerikanische Nation auch darin das Jugendliche ihres Wesens documentiren wollte, dass sie rasch und vertrauensvoll allem Neuen, das an sie herantritt, entgegenkommt! Bedenken wir, dass bei uns die Dynamomaschinen erfunden und ausgebildet sind, bei uns die elektrischen Bogenlicht-Lampen eine Vollkommenheit erreicht haben, die jedenfalls in Amerika nicht oder kaum zu finden ist, so muss man erstaunen, dass wir in der Anwendung des elektrischen Lichtes noch so unendlich weit zurück sind. Welch ein Unterschied mit Amerika! Nicht weniger als 75 Städte der Vereinigten Staaten haben elektrische Beleuchtungs-Anlagen in grösserem oder kleinerem Maassstabe eingeführt; wohin uns die Eisenbahn führt, überall finden wir in Städten und Dörfern elektrisches Licht.

Einige dieser Städte, beispielsweise Albany, haben fast durchweg elektrische Strassenbeleuchtung, und selbst in Orten, welche nur die Pacificbahn berührt, und welche eigentlich nur aus dem Stationsgebäude und einigen Hütten bestehen, sehen wir elektrische Bogenlichter brennen. Dabei hat keine einzige Stadtverwaltung in Amerika bisher die elektrischen Lichtanlagen in eigene Regie übernommen, wie es auch nur zwei Städte der vereinigten Staaten (nämlich Philadelphia und Richmond, Ve.) giebt, die eine eigene Gasfabrik besitzen.

Es ist also hier ein Feld ganz freier, unbeschränkter Concurrenz geboten. Dementsprechend existiren beispielsweise allein in New York zehn verschiedene Gas- und ausserdem vier grosse

elektrische Licht-Companien. Mit zweien der letzteren und mit 8 von den Gas-Companien steht die Stadtverwaltung betreffs der Strassenbeleuchtung in Geschäfts-Verbindung[1]). Wie wir bereits bei der Besprechung der Kosten des Edison'schen Glühlichtes zu erwähnen Gelegenheit hatten, ist ja in Amerika, in Folge der hohen dort üblichen Gaspreise[2]) für das elektrische Licht ein viel günstigerer Boden, um mit dem Leuchtgase zu concurriren, geboten, als das bei unseren niedrigen Gaspreisen (16 Pf. pro 1 cbm) der Fall ist. Es kann uns daher nicht erstaunen, wenn bei der in den letzten Jahren in Amerika so stark grassirenden Speculationswuth sich eine ganze Reihe von elektrischen Gesellschaften auf blosse Speculation hin gebildet haben, die zum grossen Theile später wieder eingegangen sind. Den eigentlichen „elektrischen Markt" beherrschen indess nur 3, durch die ganzen Vereinigten Staaten Amerikas hindurchgehende, mit mächtigem Capital arbeitende „Electric light" Companien[3]). Es sind dies:

1. die Brush' Co.,
2. die United States (Weston) Co.,
3. die American Electric and Illuminating Co. (Thomson-Houston).

Der Gang der Geschäftshandhabung derartiger Companien ist stets der, dass sich zunächst für jede Provinz eine Haupt-Companie bildet, welche die Patente, deren Ausnutzung sie betreiben will, erwirbt, und dass dann für jede grössere Stadt sich wiederum eine Subcompanie constituirt, welche gegen entsprechende, an die Haupt-Companie zu entrichtende Gebühren das Recht erhält, in der betreffenden Stadt und deren Umgebung Lichtanlagen auszuführen. Dazu bedarf es selbstverständlich der Einholung der Erlaubniss der städtischen Verwaltungen, die jedoch so ziemlich in allen Fällen und dann stets in der freiesten Weise ertheilt wird, was allerdings die leidige Folge hat, dass die Strassen der amerikanischen Städte

[1]) Die Contracte werden stets nur für je 1 Jahr abgeschlossen.

[2]) 2—3 Dollar pro 1000 Cub.-Fuss entsprechend 28,3 bis 42,4 Pf. pro 1 Cubikmeter.

[3]) Wir sprechen hier nur von den Bogenlicht liefernden Gesellschaften.

durch die überall oberirdisch[4]), genau wie unsere Telegraphendräthe, auf Pfosten geführten Drathleitungen, in einer Weise verunstaltet werden, die man bei uns für geradezu unmöglich halten würde. Schönheitsgefühl ist ja überhaupt nicht gerade das, wodurch sich der Amerikaner besonders auszeichnet, sondern alles muss zunächst praktisch, den Verkehr, das Leben erleichternd sein. Eben diesem Umstande auch, dass der Amerikaner so wenig das Aeussere einer Einrichtung in's Auge fasst, wenn sie sonst nur dem Zweck entspricht, verdankt unbedingt das elektrische Licht in Amerika seine grosse, weitgehende Anwendung. Dies zeigt sich so recht darin, dass in Städten, wie z. B. in Chicago, wo ein oberirdisches Führen der elektrischen Leitungsdräthe nicht gestattet ist, auch so gut wie nichts von elektrischem Licht existirt.

Betreffs des Legens der Leitungen in Strassen und Häusern, sowie betreffs der Aufstellung der Dynamomaschinen sind zum grössten Theil nur die Vorschriften der verschiedenen Versicherungs-Gesellschaften maassgebend, während von einer Beaufsichtigung hinsichtlich der regelrechten Erfüllung derartiger Vorschriften von Seiten einer Behörde, etwa durch die Polizei, in Amerika nichts bekannt ist. Ebensowenig kennt man übrigens dort den bei uns in Europa allgemein üblichen Modus, dass eine z. B. Gas, Wasser oder elektrischen Strom liefernde Gesellschaft dafür, dass sie zu ihren Leitungen die Strassen benutzt, an die Commune Abgaben oder Procente ihrer Einnahmen zu zahlen hat; und es legen in Amerika alle die verschiedenen Companien ihre Rohr-, resp. Drathleitungen, Pferdebahngeleise, etc. etc., wenn sie einmal dazu die Erlaubniss von der Stadtverwaltung erhalten haben, durch und über die Strassen hin, ohne auch nur den geringsten Bruchtheil ihrer Einnahme der betreffenden Commune zu Theil werden zu lassen.

Von den drei, auf Seite 233 erwähnten, elektrischen Gesellschaften ist die Brush-Companie ohne Zweifel weitaus die bedeutendste und gleichzeitig auch die älteste. Sie hat sich 1876 constituirt, hat ihre Fabriken in Cleveland (Ohio), und hatte bis zum März 1883 bereits 18000 Brush'sche Bogenlicht-Lampen in den Vereinigten Staaten Amerikas verkauft. In New York allein

[4]) Nur die zu Edison's Glühlicht-Anlagen dienenden Kabel sind unterirdisch geführt.

schon waren Ende 1883 etwa 1500 Brush' Lampen in Gebrauch (darunter 55 von der Stadt gemiethete Strassenlaternen); in Boston, wo sich die Companie 1881 bildete und ihre Thätigkeit mit der Installirung von drei Lampen begann, sind jetzt bereits ungefähr 700 Lampen (darunter 190 Strassenlaternen) im Betrieb.

Von nahezu der gleichen Bedeutung ist die aus der 1877 gegründeten Weston Electric Light Co. hervorgegangene[5]) „United States Electric Lighting Co.", welche gegenwärtig ausschliesslich Weston'sche Bogenlicht-Lampen und Maschinen einerseits, andererseits Maxim'sche Glühlampen verwendet. Die Werke der United States Co. befinden sich in Newark, N. J.

Von geringerer Ausdehnung ist die „American Electric and Illuminating Co., welche Thomson und Houston's Patente erworben hat. Die Companie, im Juni 1882 in Boston in's Leben getreten, hat in neuester Zeit ganz ausserordentlich rasche Fortschritte gemacht, so dass sie ihre Fabriken in Lynn (Mass.) sehr vergrössern musste. Sie begann ihre Thätigkeit mit etwa 20 Bogenlichtern, deren Zahl indess innerhalb der folgenden $^5/_4$ Jahre allein in Boston schon auf 550 wuchs, sodass die Gesammtzahl der von der Companie innerhalb und ausserhalb Boston's installirten Lampen im October 1883 bereits etwa 700 betrug. Das Licht der Thomson-Houston' Lampen ist ausserordentlich schön und ruhig und steht demjenigen der Siemens & Halske'schen Differential-Lampen kaum nach, was von den Brush- und Weston-Lampen jedenfalls nicht in gleicher Weise gerühmt werden kann.

§ 77. Die Centralstationen für Bogenlicht-Beleuchtung, Leitungen, Strassenlaternen, Thurm- oder Mastlichter.

Die von den verschiedenen Bogenlicht-Companien eingerichteten erst seit Mitte oder Ende 1881 bestehenden Centralstationen sind im Grunde sämmtlich nach demselben Princip erbaut und unterscheiden sich eigentlich nur durch die Zahl der aufgestellten Licht- und Dampfmaschinen. In einer jeden solchen Station sind Umschaltvorrichtungen angebracht, um die Maschinen und Leitungen beliebig, dem Bedarf entsprechend, mit einander verbinden zu

---

[5]) 1878.

können, während eigentliche Reservemaschinen hingegen kaum irgendwo existiren. Der ganze Betrieb ist hier naturgemäss viel einfacher als beispielsweise bei den Edison'schen Glühlichtanlagen, insofern als die Zeit, innerhalb welcher Bogenlicht verlangt wird, sowie die Zahl der in eine Leitung gemeinsam eingeschalteten Bogenlicht-Lampen ja stets nur eine beschränkte ist, und es daher immer auf der Station genau bekannt sein kann, welche Stromkreise zu bestimmten Stunden an die Maschinen angeschlossen werden müssen. Die Dynamomaschinen sämmtlicher zuvor erwähnter Companien haben Regulatoren, welche die Stromstärke automatisch auf der Station reguliren und constant halten, so dass es also thunlich ist, jede Lampe einzeln je nach Bedarf aus- resp. einzuschalten. Die Lampen, Träger, Leitungen etc. werden an die Abnehmer von den Companien geliefert und verbleiben deren Eigenthum. Im Allgemeinen nimmt man an, dass derartige Central-Stationen sich rentiren, wenn mindestens hundert Bogenlichter vermiethet sind. Die Bezahlung für das gelieferte elektrische Licht findet, da nirgends Messapparate für die Menge des von den Bogenlicht-Lampen verbrauchten elektrischen Stromes in Gebrauch sind, stets nur auf Grund von Uebereinkommen statt und variirt demgemäss innerhalb ziemlich weiter Grenzen je nach der Zahl und Benutzungsdauer der Lampen. Der gewöhnliche Preis beträgt (für Private) etwa 600 M. pro Lampe im Jahr, und zwar sind dabei als Brenndauer die „landesüblichen" Stunden 5—10 Uhr Nachmittags im Winter und 7—10 Uhr im Sommer, die Sonntage ausgenommen, gerechnet. Sonnabends wird 1—2 Stunden länger als gewöhnlich Licht geliefert. Für Lampen, welche den ganzen Tag hindurch brennend erhalten werden müssen, wird gewöhnlich 4 M. pro Lampe und Tag berechnet, indess treten je nach der Anzahl der von einem Abnehmer benutzten Bogenlicht-Lampen grössere oder kleinere Reductionen des Betrages, der für eine Lampe zu entrichten ist, ein. So fordert z. B. die Brush-Companie in Boston

bei	25	installirten	Lampen	pro	Tag	und	Licht	2,60 M.
„	6	„	„	„	„	„	„	3 M.
„	1	„	„	„	„	„	„	4 M.

Für das Legen der Leitungen wird den Abnehmern nichts berechnet. Stadtverwaltungen haben für Strassenbeleuchtungen selbst-

verständlich ziemlich erhebliche Preisermässigungen und zahlen für die die ganze Nacht hindurch brennenden, elektrischen Bogenlicht-Lampen pro Lampe und Nacht gewöhnlich 2,60 M. bis 3 M. Was die Betriebssicherheit in diesem Falle anlangt, so hat sich dieselbe als vollkommen genügend herausgestellt, so dass in allen den Strassen der amerikanischen Städte, in welchen elektrische Strassenbeleuchtung eingeführt ist, überhaupt keine Gaslaternen mehr existiren, sondern von diesen nur noch die Pfosten stehen, die Laternen selbst hingegen abgenommen sind. Ob die elektrischen Strassenlampen brennen oder nicht, wird von den Nachtwächtern controllirt, und nach deren Rapporten die Verrechnung geregelt. Verlöscht eine Lampe, so wird 1 Tag, brennt sie von vornherein an einem Tage überhaupt nicht, so werden 2 Tage Brenndauer bei der Rechnung in Abzug gebracht, so dass sich auf diese Weise die Stadt den einzelnen elektrischen Licht-Companien gegenüber sicher gestellt hat. Die Lampen selbst sind auf gewöhnlich 20 Fuss hohen, höchst unschönen und völlig schmucklosen, eisernen Pfosten angebracht, und die frei in der Luft geführten Leitungsdräthe auf hölzernen, entsprechend hohen Pfosten befestigt, welche stellenweise 10—12 horizontale Querarme mit je 10 Dräthen tragen; nur in Cleveland (Ohio) hat man eine etwas sorgfältigere Führung der Leitungsdräthe auf eisernen Trägern gewählt, die wenigstens nicht so sehr die Strassen verunstalten, als das sonst überall durch die hölzernen Pfosten geschieht. Diese letzteren sind rohe, nicht einmal angestrichene Pfähle, die um so hässlicher aussehen, als die Arbeiter bei etwaigen Reparaturen zum Hinaufsteigen an den Pfählen sich nicht der Leitern bedienen, sondern an die Stiefel angeschnallte Steigeisen dazu benutzen, was allerdings ein sehr rasches Auf- und Absteigen erlaubt, indess nicht gerade zur Verschönerung der Holzpfähle beiträgt.

Wir wollen hier einige Bemerkungen betreffs der sogenannten Thurm- oder Mastlichter anfügen.

Bekanntlich hat man berechnet, dass man, um eine möglichst günstige Lichtwirkung zu erhalten, 0,7 des Radius der zu beleuchtenden Fläche als vortheilhafteste Aufhängungshöhe der Lampen zu wählen habe. So richtig hiernach eine hohe Aufhängung elektrischer Bogenlichtlampen bei ihrer grossen Lichtstärke ist, so verkehrt muss die von Brush vielfach angewendete Art, mehrere seiner

Lampen an einem hohen Mastbaum anzubringen, erscheinen, denn wenn man, wie das Brush thut, eine grössere Zahl (5—8) sehr lichtstarker Lampen (à 4000 N.-K. nominell) im Kreise um die Spitze eines Mastes herum aufhängt, so verliert man doch offenbar alles nach innen hingehende Licht jeder einzelnen Lampe und gewinnt demgemäss nicht entsprechend viel durch die grosse Höhe der Aufhängung. Stellenweise hat Brush sogar 100 Meter hohe Maste verwendet und durch ein solches Mastlicht eventuell ein ganzes, nicht mit Leuchtgas versehenes Städtchen von etwa 5000 Einwohnern beleuchten zu können gehofft, auch wohl in einzelnen grösseren Städten durch einzelne Mastlichter eine grosse Anzahl Gaslaternen, z. B. in Cleveland durch 3 derartige Mastlichter 488 Strassenlaternen ersetzt; indess ist der Effect ein verhältnissmässig geringer. Diejenigen Strassen, welche in der Richtung nach dem Mastlichte hin verlaufen, werden naturgemäss sehr gut und ausreichend beleuchtet, alle quer zu diesen verlaufenden jedoch bleiben völlig dunkel. Zudem sind dann auch die Schatten sehr scharf und störend, während eine gute Vertheilung derselben Anzahl Lampen eine weit bessere Beleuchtung würde haben erzielen lassen. Wenn man daher, entsprechend der grossen Lichtstärke der elektrischen Bogenlichtlampen, immerhin gut thun wird, die elektrischen Strassenlaternen erheblich höher[1]) als z. B. die gegenwärtig in Berlin $5^1/_2$ m hoch aufgestellten anzubringen, so kann, wie gesagt, doch das von Brush angewendete Verfahren, 100 bis 150 Meter hohe Thurm- oder Mastlichter aufzustellen, unmöglich als das richtige für Strassen- und Stadtbeleuchtungen bezeichnet werden, ausgenommen in den verhältnissmässig seltenen Fällen, bei welchen es sich um die Beleuchtung grosser, freier Plätze handelt. Vielleicht dürfte es auch noch sehr zu überlegen sein, ob man nicht überhaupt besser thäte, statt der jetzt bei uns allgemein üblichen Art der Aufstellung der Strassenlaternen an beiden Seiten des Fahrdammes wieder auf die früher angewendete Aufhängung derselben mitten über dem Strassendamm zurückzukehren.

Gehen wir noch einmal zu den Bogenlicht-Leitungen zurück, so musste allerdings hervorgehoben werden, dass die oberirdisch

[1]) Vielleicht empfiehlt sich eine etwa 10 m hohe Aufhängung.

geführten, übrigens stets übersponnenen[2]) Zuleitungsdräthe wesentlich dazu beitragen, die Strassen der amerikanischen Städte zu verunstalten, ein Uebelstand, dem durch Verwendung von Kabeln definitiv abgeholfen werden könnte; indess darf man doch auch auf der anderen Seite nicht übersehen, dass gerade hierdurch eine ausserordentlich billige Art der Drathleitung ermöglicht wird, einmal weil die Kabel schon an sich ganz ausnehmend viel kostspieliger sind, andererseits weil frei in der Luft geführte Dräthe in Folge der grösseren Wärmeausstrahlung auch stets erheblich dünner gewählt werden können, als die zu Kabeln dienenden.

Die bei den amerikanischen Bogenlichtanlagen verwendeten Kupferdräthe haben einen Durchmesser von 5 resp. 6 mm. Erstere Drathsorte wendet sowohl die Brush- wie die Thomson-Houston-Companie an, letztere die United States Co. Es entspricht dies der erheblich grösseren Stromstärke, welche dies letztere Beleuchtungs-System zum Betriebe der Lampen erfordert.

Während nämlich die Brush- und die Thomson-Houston-Co. für ihre Bogenlichtanlagen Ströme von 9,5 bis 10 Ampère und verhältnissmässig hohe Spannungen von etwa 50 Volt bei einem Abstand der Kohlenspitzen von 1,6 bis höchstens 3,2 mm benutzt, verwendet die United States Co. (System Weston) ungefähr 16 Ampère Stromstärke für ihre Lampen, lässt sie hingegen bei einem nur 0,8 bis 1 mm langen Kohlenbogen und bei nur 25 Volt Spannung brennen. Das in allen drei Fällen erhaltene und fast allgemein in dieser Intensität (auch bei fast allen Strassenlaternen) verwendete Kohlenbogenlicht hat nominell 2000 Norm. Kerzen Lichtstärke.

Die Anzahl der in einen Stromkreis hintereinander geschalteten Bogenlichter pflegt 40 nicht zu überschreiten; 50 Bogenlichtlampen findet man jedenfalls nur äusserst selten in einer Schliessung. Man kommt auch so wie so schon bei 40 Bogenlichtern auf immerhin ganz erhebliche Spannungsdifferenzen, und die Höhe dieser letzteren bedingt ja doch eigentlich die mögliche Anzahl der in einen Stromkreis gemeinsam einzuschaltenden Lampen. Insofern ist zweifelsohne die niedrigere Spannung, welche die

---

[2]) Zum Schutz für andere Leitungen z. B. Thelephondräthe bei etwaigem gegenseitigen Berühren beider.

Weston'schen Lampen erfordern, ein grosser Vortheil im Vergleich zu der erheblich höheren der anderen Systeme, wie denn auch die United States Co. mit Recht das Factum als einen besonderen Vorzug ihres Systems hervorhebt, dass bisher noch kein Verlust von Menschenleben in Folge der von Weston benutzten Ströme zu beklagen war, was Brush leider von seinen Lichtanlagen nicht behaupten kann.

Die Gesammtlänge der einzelnen Stromkreise ist stellenweise eine sehr beträchtliche, so hat Brush z. B. mehrfach 19 Kilometer (12 engl. Meilen) lange Leitungen, in welchen er mittels einer sog. 40-Lichtermaschine 36 (?) Bogenlichtlampen mit dem erforderlichen Strom speist. Weston hat in New York in einer gleichfalls 19 Kilometer langen Leitung mittels dreier 10-Lichtermaschinen vierzehn seiner Bogenlichtlampen in Betrieb und rechnet 1 Lampe Verlust pro 0,8 Kilometer (1 engl. Meile) Leitung. Die längsten Stromkreise der „American Electric and Illuminating Co.“ (Thomson-Houston) messen 13 Kilometer.

Wir gehen nun zu der Beschreibung der einzelnen Maschinen und Apparate der Systeme Brush, Weston und Thomson-Houston selbst über.

Capitel III.

Das System Brush.

§ 78. Die Brush'sche Dynamomaschine.[1])

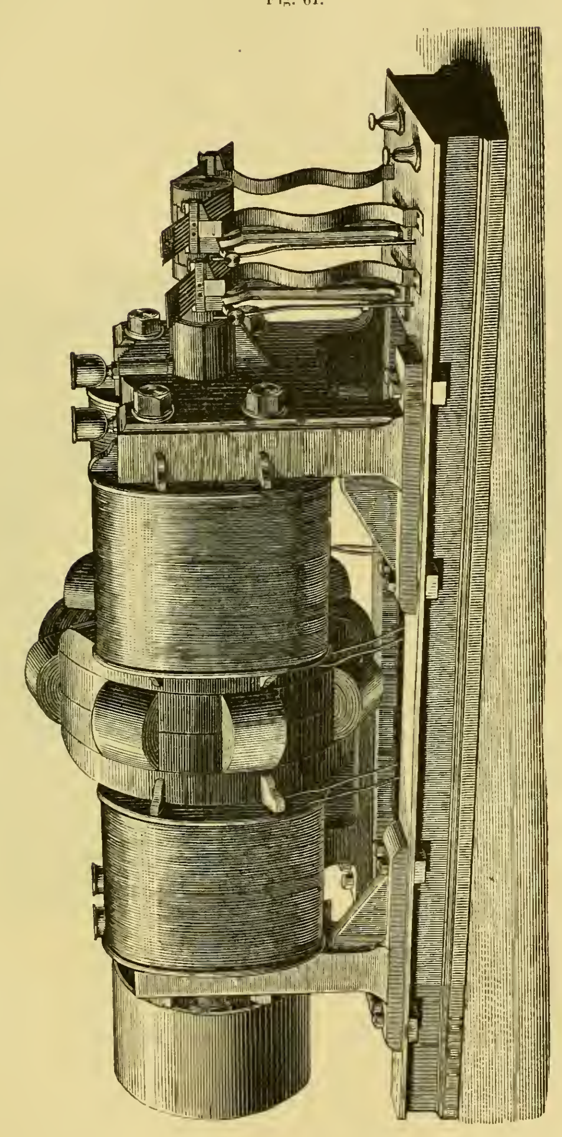
Die Brush'sche dynamoëlektrische Maschine, Fig. 61, ist eine Flachringmaschine, die sich durch die eigenthümliche Construction des rotirenden Ringes und des Commutators auszeichnet.

Die drei äusseren Flächen des aus Gusseisen hergestellten,

---

[1]) Grösstentheils entnommen aus Herrn E. Richter's Aufsatz über die elektrische Beleuchtung nach dem System „Brush“. El. Z. III 192, 1882.

Fig. 61.



sorgfältig ausbalancirten und genau abgedrehten Ringes enthalten tiefe, aus Fig. 62, 63 und 64 ersichtliche Rinnen, welche vor Allem das Auftreten von Inductionsströmen im Ringe, die durch dieselben hervorgerufene Schwächung des Stromes und Erhitzung des Eisens verhindern, und ausserdem noch eine Ventilation zur Abkühlung der auf den Ring gewickelten isolirten Dräthe bewirken sollen.

Die beiden Planflächen des Eisenringes haben eine Anzahl tiefer Einschnitte von rechteckigem Querschnitt, Fig. 62 und 64,

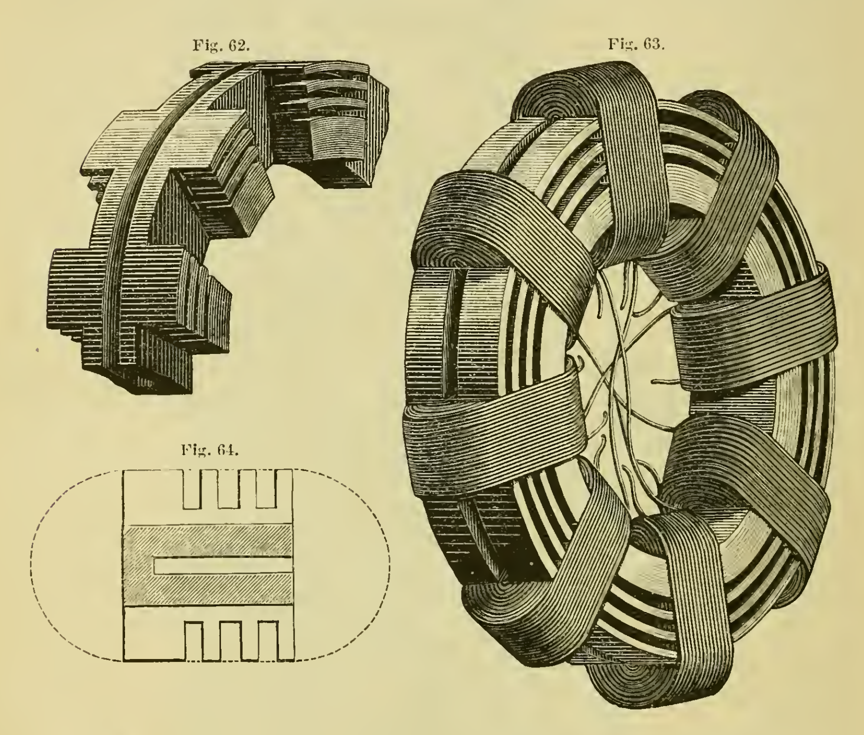
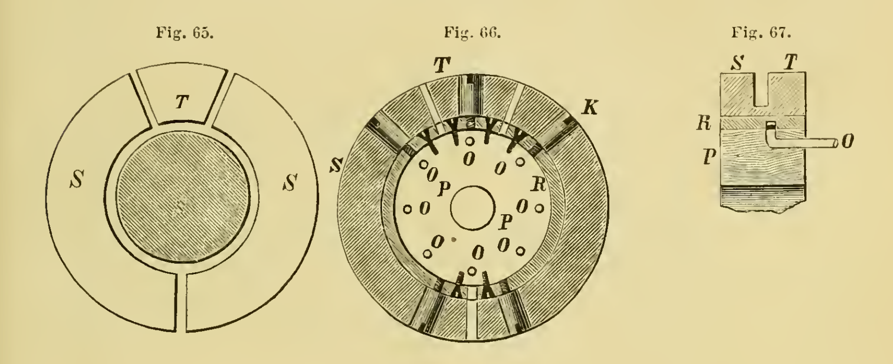


Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64.

deren Mittelebenen sich sämmtlich in der Rotationsaxe schneiden, unter sich aber gleiche Winkel bilden. Bei der sogenannten „Sechszehnlichter-Maschine", auf die sich die Abbildungen beziehen, sind acht solcher Einschnitte vorhanden, welche unter einander Winkel von 45° bilden. In diese Einschnitte ist, wie Fig. 63 zeigt, so viel isolirter Kupferdrath eingewickelt, dass die durch die Einschnitte unterbrochenen Planflächen wieder zu vollständigen Ebenen ergänzt werden.

Alle so gebildeten Spulen sind in demselben Sinne gewickelt. Die inneren Drathenden von zwei einander diametral gegenüberstehenden Spulen sind mit einander verbunden, während die äusseren Drathenden durch die Axe nach dem Commutator geführt werden, wo sie an zwei einander genau gegenüberliegende Theile angeschlossen sind, sonst aber weder unter einander, noch mit irgend einem anderen Spulenpaar in leitender Verbindung stehen. Von hier wird der elektrische Strom durch tangential anliegende, aus geschlitzten Kupferblechen bestehende Bürsten abgeführt.

Der Commutator selbst ist wesentlich verschieden von den bei allen anderen dynamoëlektrischen Maschinen gebräuchlichen; er besteht aus so vielen Kupferringen, als Spulenpaare vorhanden sind.



Je zwei dieser Ringe werden von zwei einander diametral gegenüberstehenden Bürsten berührt. Ein solcher Ring ist in Fig. 65 schematisch und in Fig. 66 und 67 in seiner praktischen Ausführung dargestellt. Auf der Maschinenaxe ist ein Holzcylinder *P* befestigt, der die mit den äusseren Drathenden eines Spulenpaares verbundenen Untersegmente *R* trägt; auf diese sind die auswechselbaren kupfernen Schleifsegmente *S* aufgeschraubt. Zwischen den Enden zweier Segmente sind von diesen isolirte, kurze Segmente *T* angebracht, welche $^1/_8$ Umfang entsprechen. Die einzelnen Segmente sind durch etwa $^1/_8$ Zoll breite Luftschichten von einander getrennt. Die kurzen, isolirten Segmente *T* bewirken, dass bei einer Umdrehung das mit den Schleifsegmenten *S S* verbundene Spulenpaar zweimal während $^1/_8$ Umdrehung nicht mit den

Bürsten in Verbindung, also geöffnet ist, und dies gerade in der Zeit, wenn es durch die neutralen Stellen der magnetischen Felder bewegt wird. Die neutralen Stellen der magnetischen Felder liegen senkrecht zu den Stellen der stärksten Stromerzeugung, welche ungefähr unter der Mitte der Pole statthat. Durch das Oeffnen eines Spulenpaares, während dieses keinen oder nur einen geringen Strom liefert, wird einestheils bewirkt, dass die Spulen nur während $^3/_4$-Umdrehung vom Strome durchflossen werden, also kälter bleiben, als wenn der Strom fortwährend hindurchginge, und anderntheils vermieden, dass es dem von den anderen Spulen erzeugten Strom als Seitenzweig diene und so einen Theil des Hauptstromes consumire.

Da die Spulenpaare nicht bloss ausgeschaltet werden, während sie keinen Strom liefern, sondern so lange ausser Verbindung mit den anderen stehen, als sich ihre elektromotorische Kraft steigert oder senkt, so ist ein Einstellen der Contactbürsten den neutralen Stellen des magnetischen Feldes entsprechend nöthig, welche Einstellung durch Verschwinden der Funken zwischen den Commutatorringen und den Bürsten gegeben ist. Die Bürstenträger sind zu diesem Zwecke an Hebeln concentrisch um die Maschinenaxe verschiebbar und können mittels starker Klemmen an verticale Stangen, welche in der Grundplatte der Maschine befestigt sind, angeklemmt und so in der ausprobirten Stellung fixirt werden. Die von den Bürstenträgern abführenden Leitungen sind aus gewellten Kupferstreifen hergestellt, um beim Verstellen des Bürstenträgers nachgeben zu können (vgl. Fig. 61).

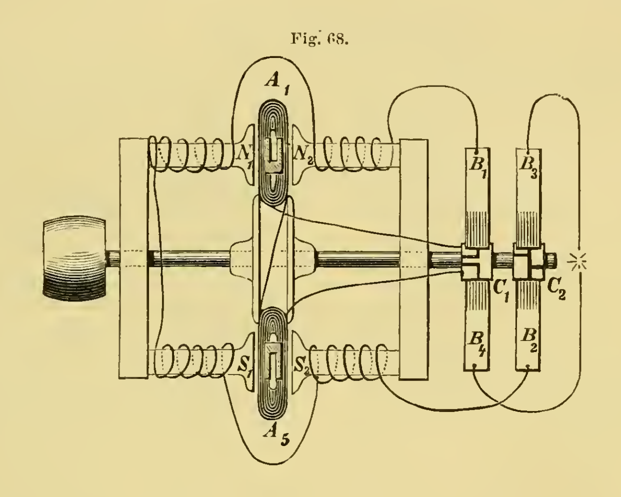
Der Flachring rotirt zwischen zwei kräftigen hufeisenförmigen horizontalen Elektromagneten, die, wie bei allen Flachringmaschinen, einander gleiche Pole zukehren. Damit der Ring den Polschuhen dieser Elektromagnete möglichst nahe gebracht werden könne, ist die Maschinenaxe gegen Verschiebungen in ihrer Längsrichtung dadurch gesichert, dass ihre aussergewöhnlich langen Lager als Kammlager ausgeführt sind, wie dies bei den Wellen der Schraubendampfer üblich ist. Jeder der Polschuhe ist ringförmig gestaltet und bedeckt den Flachring auf $^3/_8$ seines Umfanges, so dass sie nur ein Spulenpaar desselben und zwar das durch die neutrale Stellung der magnetischen Felder gehende freilassen.

Einer der interessantesten Punkte der Brush-Maschine ist die Art der Drathschaltung. Wir wollen ihre Beschreibung in der

von Hrn. E. Richter[2]) angegebenen Weise an der Hand von Fig. 68 hier wiedergeben und vorausschicken, dass die Speisung der Lampen und Magnete nicht — wie das z. B. im „Engineering“[3]) fälschlich angegeben — eine alternirende, sondern die nämliche ist, wie bei allen anderen bekannten Dynamomaschinen.

Die Spule A_1 (vgl. Fig. 68) und die ihr entgegengesetzte A_5 sind mit den Segmenten des ersten Commutatorringes verbunden; Spule A_3 und A_7 mit denen des zweiten; Spule A_2 und A_6 mit denen des dritten, und Spule A_4 und A_8 mit denen des vierten. Die Ringe 1 und 2 bilden den ersten, die Ringe 3 und 4 den zweiten Commutator. Die obere Bürste des ersten und die untere des zweiten Commutators führen zu den Schenkeln, die anderen zu

Fig. 68.



der Leitung. Hiernach und mit Hülfe des in Fig. 69 dargestellten abgewickelten Commutatorapparates lässt sich der Stromlauf für jede Stellung des Commutators leicht verfolgen, wenn man die Parallelen B_1, B_3 und B_4, B_2, welche die Bürsten darstellen, von oben nach unten verschiebt, unter einander aber in gleichem Abstande lässt. Für die in Fig. 69 skizzirte Stellung ist der Stromlauf der folgende und in Fig. 70 angedeutete: Der in den Spulen A_1 und A_5 inducirte Strom wird von der Bürste B_1 am Commutator C_1 auf-

---

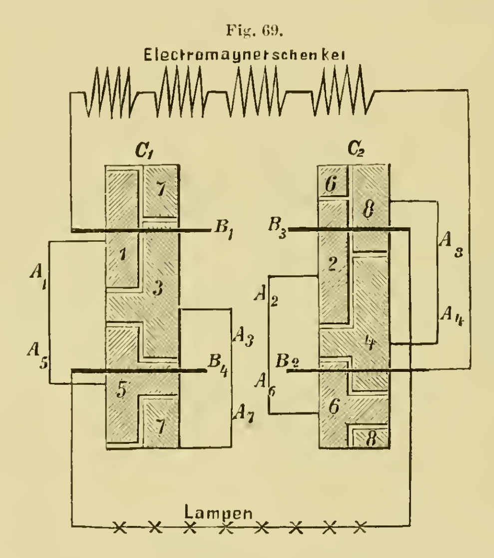
2) a. a. O.

3) Engineering 31 p. 55 ff., 1881.

genommen, gelangt durch die vier Elektromagnetschenkel zur Bürste B_2 am Commutator C_2, von da parallel durch die an B_2 anliegenden Spulen, also sowohl durch die Spulen A_4 und A_8 als auch A_6 und A_2, wobei er durch den von diesen Spulen gelieferten Strom verstärkt wird, vereinigt sich wieder an der Bürste B_3, geht in die Leitung zu den Lampen und kehrt von diesen über die Bürste B_4 am Commutator C_1 nach den Spulen A_5 und A_1 zurück.

Für das nächste Achtel der Umdrehung ändert sich das in Fig. 70 gegebene Stromlaufschema in das von Fig. 71 um, für das dritte Achtel in das von Fig. 72 und für das vierte Achtel in das von Fig. 73 u. s. w.

Fig. 69.



Die Schaltung der Vierziglichter-Maschinen, welche 12 Ankerspulen und 3 Commutatoren besitzt, ist dem bisher Angeführten analog.

Ueber die Sechzehnlichter-Maschinen giebt „der Engineering" folgende Grössen an:

Durchmesser des Flachringes 20 Zoll engl.;

Drath auf den acht Spulen No. 14 B. W. G. (= 2,15 mm Durchmesser);

Gewicht des Drathes auf einer Spule etwa 20 Pfund engl. (= 9,1 kg);

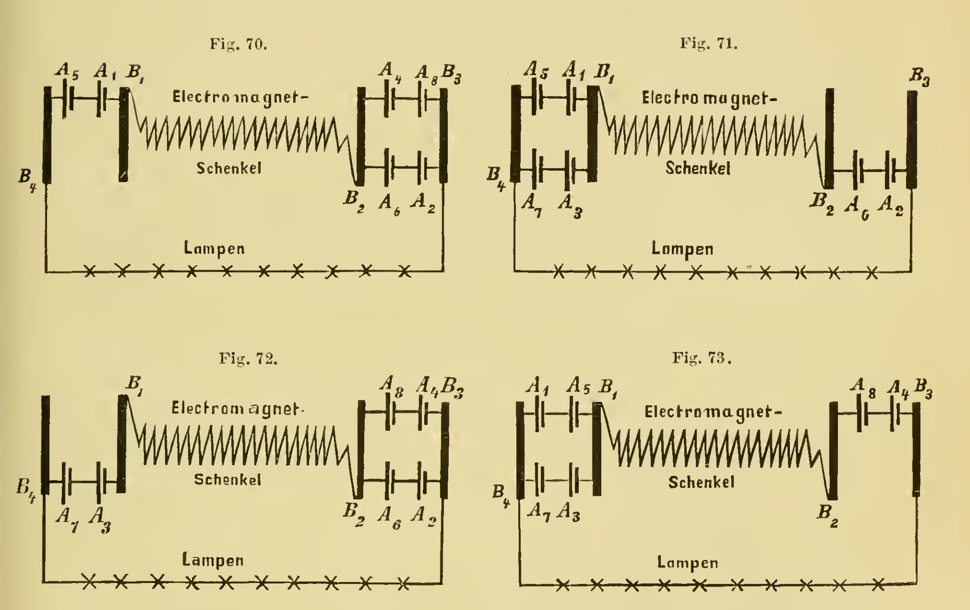
Länge des Drathes auf einer Spule etwa 900 Fuss engl. (= 275 m);

Widerstand der vier Elektromagnetschenkel 6 Ohm;

Widerstand der Maschine von Klemme zu Klemme 10,55 Ohm.

Bei Versuchen, welche mit einer Brush-Maschine beim Betriebe von 16 Bogenlichtern angestellt wurden und bei welchen die Maschine 770 Umdrehungen in der Minute machte, war:

die verbrauchte Kraft . . .	15,5 Pf.-Kr.
die elektromotorische Kraft	839 Volt,
die Stromstärke	10 Ampère,
der Widerstand einer Lampe	4,5 Ohm.



Nach diesen Angaben und bei Zugrundelegung der oben angegebenen Schaltung berechnet sich der Gesammtwiderstand der Maschine wie folgt:

Der Widerstand einer Spule, d. h. eines Kupferdrathes von 275 m Länge und 2,15 mm Durchmesser, beträgt bei einer specifischen Leitungsfähigkeit von 56 (Quecksilber = 1) und bei 40° C., welche Temperatur die Spulen mindestens annehmen werden, 1,49 Ohm; der Widerstand des Flachringes ist daher:

$$2 \cdot 1{,}49 + \frac{2 \cdot 1{,}49}{2} = 4{,}47 \text{ Ohm};$$

der der vier Schenkel war auf 6 angegeben, daher 10,47 Ohm für die ganze Maschine, was sehr gut mit dem angegebenen Werthe von 10,55 Ohm übereinstimmt, welcher an einer Maschine gemessen ist, als sie die einem continuirlichen Arbeiten entsprechende gleichmässige Temperatur angenommen.

Die Brush-Companie in Cleveland giebt bezüglich der von ihr gelieferten Lichtmaschinen folgende Tabelle:

Brush-Maschinen.

Erforderliche Kraft, Gewicht, Tourenzahl, Preis etc.

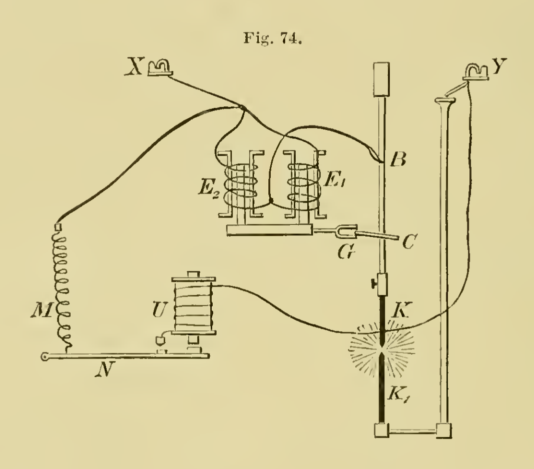
Bezeichnung der Maschine No.	Anzahl der Bogenlichter	Anzahl Normal-Kerzen je	erforderte Kraft in Pf.-Kr.	Gewicht in Kilo	Tourenzahl	Durchmesser der Riemscheibe in cm	Preis in M.
2	1	1500	$1^1/_2$	118	1000	13	1500
3	1	3000	2	182	900	15	2000
"	2	1500	$2^1/_2$	182	1100	15	2000
4	1	6000	3	250	1000	20	2700
"	3	2000	$3^1/_2$	"	1100	"	"
5	2	6000	5	522	850	25	3600
"	3	4000	6	"	"	"	"
"	4	3000	6	"	900	"	"
"	6	2000	6	"	900	"	"
6	3	6000	9	680	800	35	6000
"	5	4000	"	"	"	"	"
"	7	3000	10	"	850	"	"
"	12	2000	"	"	"	"	"
7	1	35000	12	1140	700	"	8000
"	3	12000	"	"	"	"	"
"	6	6000	13	"	750	"	"
"	9	4000	"	"	"	"	"
"	11	3000	14	"	775	"	"
"	16	2000	"	"	800	"	"
8	1	80000	30	2180	650	50	14400
"	2	40000	"	"	"	"	"
"	13	6000	32	"	675	"	"
"	20	4000	34	"	"	"	"
"	26	3000	35	"	700	"	"
"	40	2000	36	"	"	"	"

§ 79. Die Brush-Lampen.

Die von Brush zur Theilung des elektrischen Lichtes gegenwärtig allgemein benutzten Lampen sind Differential-Lampen und sind hauptsächlich durch die Art und Weise charakterisirt, in welcher der elektrische Regulirmechanismus auf die Halter der Kohlen einwirkt. Das Aneinandertreiben der letzteren wird vermittelt durch die Wirkung der Schwere auf die obere Kohle, deren höchst einfache und sinnreiche Kuppelung im geeigneten Augenblick durch den Regulirmechanismus aufgehoben wird. Hierzu dient ein Ring, der auf die Stange des oberen Kohlenhalters aufgeschoben ist und dieselbe bei genau horizontaler Stellung gerade eben hindurchgleiten lässt, während er dieselbe sofort festhält und mitnimmt, sobald er schief angehoben und dadurch geeckt wird. Die Art, wie dies seitliche Anheben des Klemmringes bewirkt wird, entspricht bei der Brush'schen Differential-Lampe im Allgemeinen vollkommen dem, was wir bei Gelegenheit der Besprechung der v. Hefner'schen auseinandergesetzt haben. Im Speciellen ist auch hier eine dünndrathige Spirale als Nebenschluss zum Lichtbogen und zur Regulirung von dessen Widerstand resp. dessen Länge verwendet, so dass wir wiederum 2 verschiedene Stromwege in der Lampe haben, deren einer durch die Kohlen führt und zwischen ihren Spitzen den Lichtbogen bildet, während der andere durch die dünndrathige, als Nebenschluss zum Lichtbogen angebrachte Spirale hindurchgeht. Fig. 74 zeigt den Verlauf, den der Hauptstrom in der Lampe nimmt, sowie die automatische Ausschaltevorrichtung $M\,N\,U$ der Lampe, welche für den Fall etwaigen Versagens derselben in Function zu treten hat, von der wir jedoch zunächst absehen wollen. X und Y stellen die beiden Endklemmen der Lampe dar, welche häufig blos aus Haken bestehen, die in Oesen, zu welchen die Zuleitungsdräthe der Dynamomaschine führen, eingehakt sind und also gleichzeitig zur Aufhängung der Lampe dienen können. Der etwa bei X eintretende Strom fliesst durch die beiden hohlen Spulen E_1 und E_2, die einander parallel geschaltet sind, geht dann durch den Drath bei B zum Halter der oberen Kohle K über und von hier, wenn beide Kohlenenden sich berühren, durch die untere Kohle K_1 und deren Träger zur anderen Lampenklemme Y und so

zur Lichtmaschine zurück. Hierdurch erhalten die Solenoide E_1 und E_2 magnetische Kraft und werden somit den in sie hineinragenden Hufeisenkern weiter in sich hineinziehen, wobei letzterer nun durch seitliches Angreifen vermittels der Gabel G den bei C aufliegenden, die obere Kohlenhalter-Stange umfassenden Ring eckt, dadurch den Kohlenhalter klemmt und ihn bei seiner Aufwärtsbewegung mitnimmt. Hierdurch bildet sich alsdann der Lichtbogen, der Widerstand der soeben betrachteten Leitung $XBKK_1Y$ wächst gleichzeitig, und es fliesst demnach nun ein grösserer Bruchtheil des Gesammtstromes durch einen in der Figur nicht mit eingezeichneten dünnen Drath, welcher in vielen Windungen über die dickdrathigen Spiralen E_1 und E_2 aufgewickelt ist und als Nebenschluss zwi-

Fig. 74.



schen X und Y zu dem Lichtbogen selbst dient. Die Verbindung zu den Drathenden der dünndrathigen auf E_1 E_2 aufgewickelten Spirale mit X und Y, resp. der Sinn ihrer Wickelung ist so gewählt, dass die magnetisirende Wirkung der dickdrathigen vom Hauptstrom durchflossenen Solenoide E_1 E_2 durch die der dünndrathigen Wickelung abgeschwächt resp. compensirt wird. Wächst nun in Folge des z. B. durch Abbrennen der Kohlen länger und länger werdenden Lichtbogens die Stromstärke in der Nebenspirale, so wird dadurch dem ferneren Festhalten der Eisenkerne durch die Doppelspulen E_1 E_2 in der bisherigen Lage eine Gränze gesetzt, die Hufeisenkerne, und damit auch die Gabel G werden sich

mehr und mehr senken, bis schliesslich der bei C aufliegende Klemmring in eine horizontale Lage kommt, so dass jetzt der Halter der oberen Kohle tiefer hinabrutscht und dadurch eine Verkürzung des zu lang werdenden Lichtbogens bewirkt.

Die automatische Ausschaltvorrichtung $M N U$ werden wir bei der sogleich zu besprechenden Doppel-Lampe noch näher zu betrachten Gelegenheit haben.

Die zu den Brush-Lampen dienenden Kohlenstäbe[1]) sind etwa 30 cm lang und mit einem dünnen, galvanoplastisch hergestellten Kupferüberzug versehen. Sie halten etwa für 8 Stunden aus, in welcher Zeit ungefähr 24 cm der positiven und nahezu 11 cm der negativen Kohle abbrennen. Da indess häufig Lampen von längerer Brenndauer erfordert werden, so hat Brush sogenannte Doppellampen construirt, welche 2 nacheinander abbrennende Kohlenpaare enthalten und für eine doppelt so grosse Zahl von Brennstunden ausreichen. Fig. 75 zeigt die perspectivische Ansicht der einfachen Brush-Lampen, Fig. 76 die der Doppel-Lampen[2]). Der gesammte Mechanismus der letzteren gleicht in allen wesentlichen, die elektrische Regulirung angebenden Theilen vollkommen der soeben besprochenen einfachen Lampe, nur der Klemm- und Auslöseapparat der beiden Kohlenpaare ist anders, übrigens äusserst einfach und sinnreich construirt. Um noch grössere Brenndauer zu erzielen, würde man in genau der gleichen Art, wie wir sie für 2 Paare von Kohlen sogleich beschreiben wollen, 3 oder 4 Kohlenpaare anbringen können, die sich nach einander automatisch einschalten, sobald das vorhergehende Kohlenpaar abgebrannt ist. Indess sollen hier nur die von Brush vorwiegend (besonders bei allen Strassenbeleuchtungen) verwendeten Doppel-Lampen nähere Besprechung finden.

---

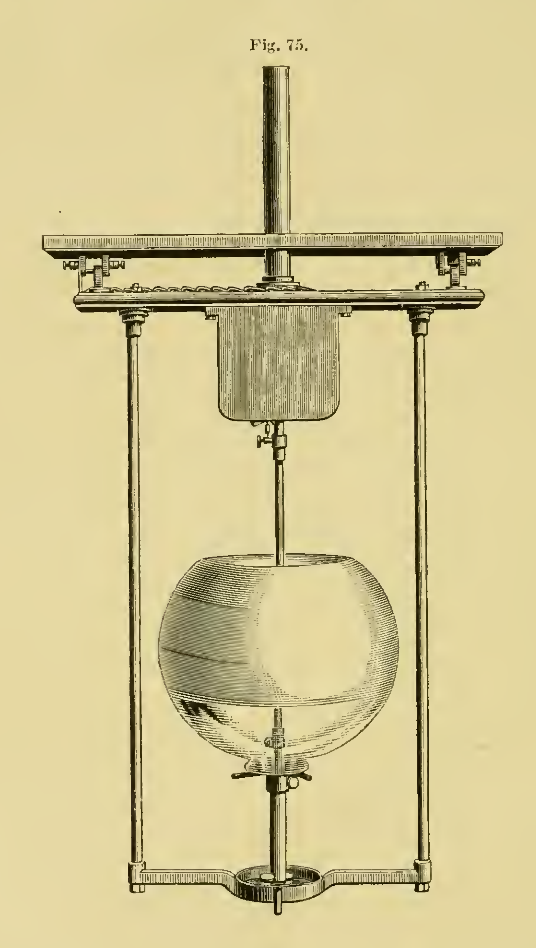
[1]) Preis der von Brush fabricirten Kohlenstäbe:

Länge	30 cm,	Durchmesser	11 mm,	pro Hundert	25	M.
„	„ „	„	12,7 „	„ „	32	„
„	„ „	„	16 „	„ „	40	„
„	„ „	„	19 „	„ „	48	„
„	„ „	„	25 „	„ „	60	„

[2]) Preis der einfachen Lampen von Brush 260 M.
„ „ Doppel-Lampen „ „ 320 „

Zwei[3]) neben einander stehende Kernspulen E_1 E_2, Fig. 77 und 78, in welche die beiden unter sich verbundenen, einem Hufeisenelektromagneten ähnlichen Eisenkerne F_1 F_2 hineinragen, sind mit einigen Windungen dicken und vielen Windungen dünnen Drathes

Fig. 75.



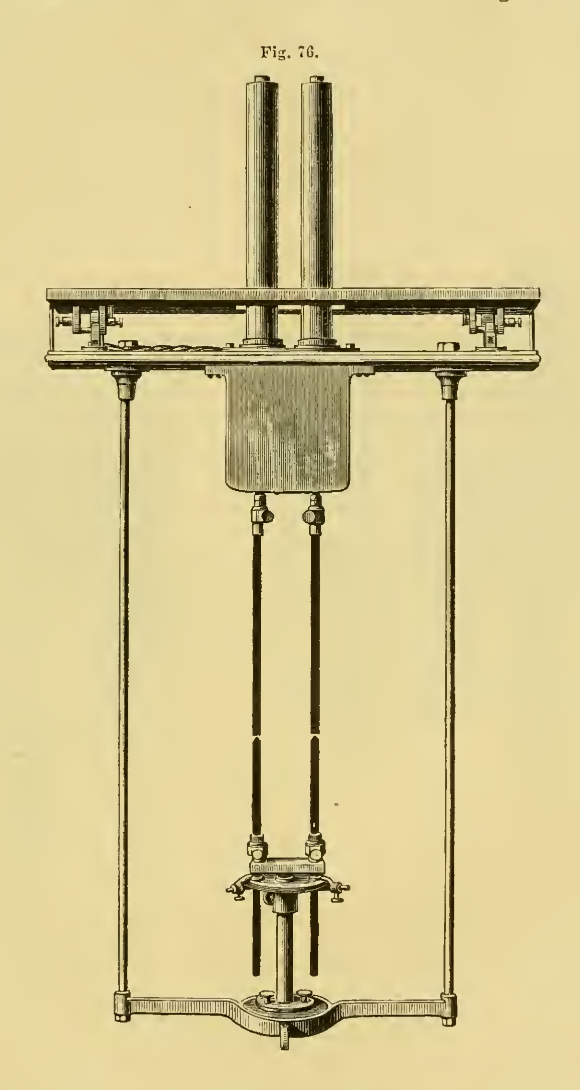
bewickelt. Der dicke Drath führt den Strom dem Lichtbogen zu, der dünne bildet, wie schon bei Besprechung der einfachen Lampe (p. 250) erwähnt, einen Nebenschluss zur ganzen Lampe. Auch hier sind die Verbindungen in der Weise gemacht, dass beide

---

[3]) Aus Ernst Richter's Aufsatz El. Z. III 192, 1882.

Wickelungen in entgegengesetztem Sinne von den Strömen durchflossen werden, so dass der Zweigstrom die Wirkung des Hauptstromes schwächt. Die Widerstände und Windungszahlen sind so

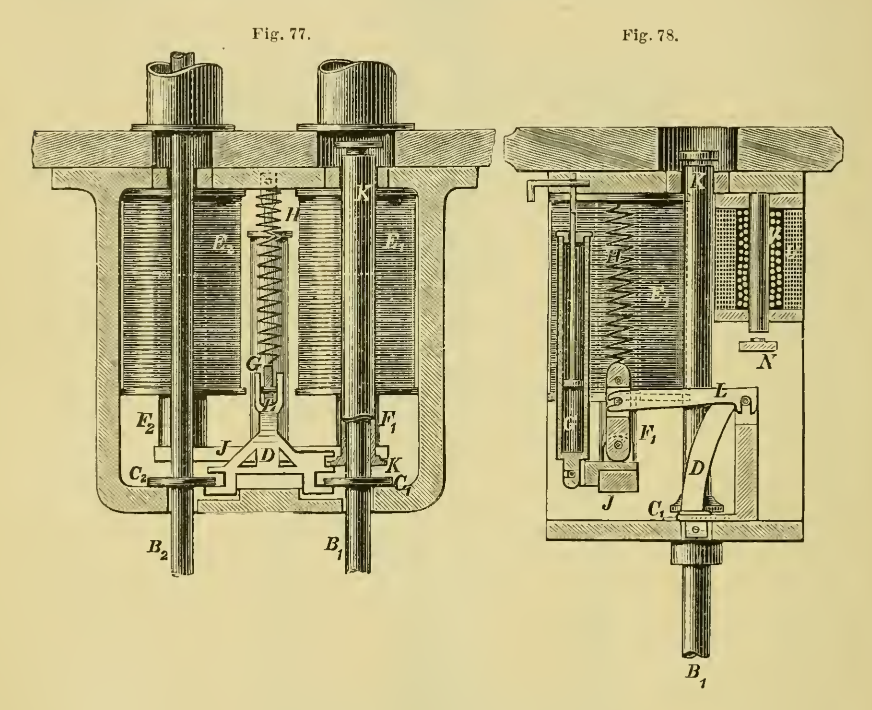
Fig. 76.



bemessen, dass bei der normalen Länge des Lichtbogens (2 mm) die Wirkung des Hauptstromes stärker ist, als diejenige des Zweigstromes, da er einem Theile des Gewichtes der Kohlen und

Kohlenhalter das Gleichgewicht zu halten hat. In Folge der eigenen Schwere berühren sich zunächst die Kohlenstäbe; tritt indess ein Strom in die Lampe, so ziehen die Spulen die Eisenkerne in sich hinein, wobei gleichzeitig die Kohlenhalter von ihren Klemmringen gepackt und die Kohlenspitzen von einander so weit getrennt werden, bis durch Zunehmen der Länge des Lichtbogens und durch das hiermit bedingte Wachsen seines Widerstandes der Zweigstrom so stark wird, dass der Eisenkern nicht weiter gehoben wird, der Lichtbogen also eine bestimmte Länge erreicht.

Fig. 77. Fig. 78.

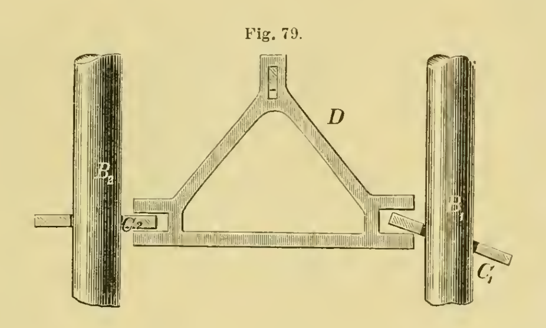


Nachdem der Hauptstrom die beiden Spulen, deren dicke Windungen, genau wie in Fig. 74 (Seite 250) angegeben, einander parallel geschaltet sind, durchlaufen hat, gelangt er auf den Lampenkörper, von da durch den oberen Kohlenhalter und den Lichtbogen zur unteren Kohle und zur Ableitungsklemme zurück.

Die beiden vereinigten Eisenkerne $F_1 F_2$ wirken an einem einarmigen Hebel L, Fig. 77 und 78; derselbe trägt an einem Ende den Stiefel G einer kleinen, mit Glycerin gefüllten Pumpe, welche

zu rasche Bewegungen der Kohlen und das sonst dadurch leicht eintretende Abreissen des Lichtbogens zu verhindern bestimmt ist, ferner eine Spiralfeder *H*, durch die ein Theil des Gewichtes der Kohlen, Kohlenhalter u. s. w. ausgeglichen ist, und endlich nahe seinem Drehpunkt einen kleinen Rahmen *D*, durch den die Klemmringe C_1 und C_2 gehoben werden. Dadurch, dass der eine Einschnitt des Rahmens etwas weiter ist als der andere (Fig. 79), wird bewirkt, dass die eine Kohle früher gehoben wird als die andere, weil der engere Einschnitt den in ihm liegenden Ring früher erfasst, als dies der weitere thut. Beim Abwärtsgehen des Rahmens wird diese zuletzt erfasste Kohle freigemacht, während die andere noch festgeklemmt bleibt. Durch das Abbrennen der Kohle würde der Lichtbogen länger und länger werden, wenn nicht in demselben Maass, als der Lichtbogenwiderstand steigt, die Zweig-

Fig. 79.

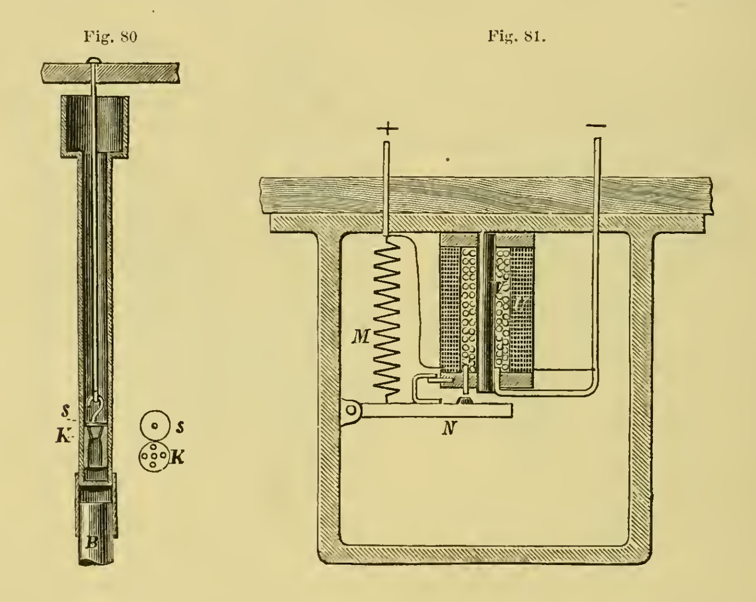


leitung mehr Strom erhielte, und dadurch ein entsprechendes Sinken der Kohle bewirkt würde. Auf diese Weise wird zunächst nur die eine Kohle nachregulirt, bis sie soweit abgebrannt ist, dass sich ein oben an der betreffenden Stange befindlicher Knopf auf das sie umgebende und auf dem Rahmen aufliegende Rohr *K* (Fig. 77 und 78) stützt. Die Kohle kann nun nicht weiter nachrücken.

Bei weiterem Abbrennen der Kohlen und bei demzufolge durch die Doppel-Spulen bewirktem Sinken des Rahmens *D* wird nun der zweite Kohlenhalter frei gemacht; die durch ihn bisher getrennt gehaltenen Kohlen kommen zur Berührung, der Lichtbogen geht auf sie über, und das Nachreguliren der zweiten Oberkohle nimmt nun seinen Verlauf genau so, wie zuvor für die des ersteren Kohlenpaares.

Damit sich die Kohlen beim Nachrücken nicht zu schnell bewegen, sind die von den Klemmringen umfassten Stangen als Pumpenstiefel gebildet, welche mit Glycerin gefüllt sind, und in welche am oberen Ende des Lampengehäuses befestigte Kolben ragen. Diese Kolben *K* (Fig. 80) haben Scheiben *S* als Ventile, sodass das Entfernen der Kolben schneller, das Annähern langsamer erfolgt.

Ist das letzte Kohlenpaar so weit abgebrannt, dass die obere Kohle nicht weiter nachrücken kann und der Lichtbogenwiderstand über sein gewöhnliches Maass gewachsen ist, was ein Verlöschen



der Lampe zur Folge haben muss, so tritt eine selbstthätige Ausschaltevorrichtung (Fig. 81, resp. *M N U* in Fig. 74 pag. 250) in Wirkung, welche die Lampe kurz schliesst und somit aus der Leitung ausschaltet, so dass die übrigen in denselben Schliessungskreis eingeschalteten Lampen trotz des Verlöschens dieser einen ruhig weiter brennen können.

Diese Ausschlussvorrichtung besteht aus einem Elektromagneten, dessen Spule mit einigen Windungen *V* dicken Drathes und vielen Windungen *U* dünnen Drathes bewunden ist. Die dünnen Windungen werden in die Leitung der dünndrathigen Wickelung

der Doppelspulen $E\ E_1$ (Fig. 77 und 78) der Differential-Lampe eingeschaltet und von dem in ihnen auftretenden Zweigstrome mit durchflossen. Der Anker N des Elektromagneten wird nur dann zum Anzuge gebracht, wenn dieser Strom eine grössere, als die normale, dem richtigen Brennen der Lampe entsprechende Stärke erhält. Sobald sich der Anker anlegt, wird dem Hauptstrom ein anderer und besserer Weg, als durch den Lichtbogen geöffnet, nämlich von der einen Polklemme durch die dicken Windungen dieses Elektromagneten, über den Anker N, durch den Widerstand M nach der anderen Polklemme der Lampe. Diese dickdrathigen Windungen werden in demselben Sinne vom Strome durchflossen, wie die dünnen von dem Zweigstrome, so dass mithin der Anker angezogen und die Lampe kurz geschlossen bleibt.

Ist der Widerstand des Lichtbogens durch irgend welchen Einfluss so hoch gestiegen, dass die Ausschlussvorrichtung in Thätigkeit getreten ist, so behalten die dünnen Windungen der Kernspulen einen geringen Strom, den dicken Windungen aber wird der Strom ganz entzogen, da der Lichtbogen erloschen ist; die Klemmringe und Kohlenhalter werden somit nicht mehr festgehalten, sondern senken sich, und die Kohlen kommen zusammen, falls sie nicht etwa bereits ganz abgebrannt sind. Ist aber letzteres eingetreten und sind etwa nun neue Kohlen eingesetzt worden, so wird, sobald diese in Contact gekommen sind, wieder die Hauptmenge des Stromes durch sie hindurchgehen, und zwar ein um so grösserer Bruchtheil des gesammten Stromes, je geringer der Widerstand zwischen den Kohlen im Vergleich zu dem der Windungen des Ausschalte-Elektromagneten und des Widerstandes M (Fig. 81) ist. Hierdurch wird aber der Strom im Elektromagneten so geschwächt, dass der Anker abfällt, und die Lampe wieder in regelmässigen Betrieb gesetzt wird.

Der Lichtbogen ist von einer kleinen Glasglocke (Fig. 75), umgeben, welche von einem verstellbaren Halter getragen wird.

Die Säule, welche die unteren Kohlenhalter trägt, und an welcher der Glockenhalter auf- oder abwärts verschoben werden kann, lässt sich durch drei Stellschrauben so bewegen, dass die Kohlenstäbe genau einander gegenüber eingestellt werden können. Die unteren Kohlen werden in ihrer Mitte, die oberen an den Enden eingespannt. Die Kohlenzangen sind zweitheilig und mit Schrauben zum Zusammenklemmen der beiden Hälften versehen.

Den gemeinsamen Widerstand der Lampe und des Lichtbogens der sog. 2000 Normalkerzen-Lichter giebt Brush zu 4,5 Ohm, den der dünndrathigen Nebenschluss-Wickelung der Differentialspulen der Lampen zu 450 Ohm an. Sonach wird nur 1 % des Gesammtstromes durch den Nebenschluss absorbirt, und da der Widerstand der dickdrathigen Wickelung, der Kohlenhalter und der Kohlen für sich 0,131 Ohm den Messungen von Brush zufolge d. h. 2,91 % des Widerstandes der brennenden Lampe beträgt, so würde mithin 3,91 % der gesammten Stromenergie in den verschiedenen Theilen der Lampe nutzlos absorbirt, der gesammte Rest von 96,09 % hingegen im Lichtbogen auftreten.

Die Stromstärke soll 10 Ampère betragen.

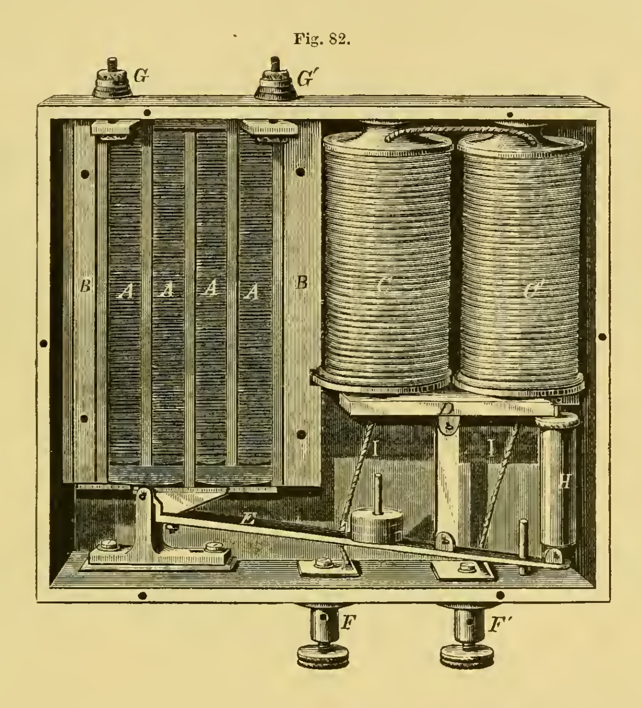
§ 80. Brush's Strom-Regulator.

Bei Lichtanlagen, wo die Möglichkeit eines ganz beliebigen Entzündens oder Auslöschens elektrischer, in einen und denselben Stromkreis eingeschalteter Bogenlichtlampen gegeben sein, die Umlaufsgeschwindigkeit der Betriebs- sowie der Lichtmaschine aber nicht geändert werden soll, verwendet Brush den in Fig. 82 dargestellten Regulator[1]). Durch denselben wird die Stromstärke der Lichtmaschine selbstthätig so regulirt, dass sie ständig die gewünschte Grösse beibehält, wie auch immer die Zahl der gerade brennenden Lampen verändert werden möge. Der wesentlichste Theil des Apparates ist eine Reihe aufeinander geschichteter quadratischer Kohlenplättchen *A* deren elektrischer Leitungswiderstand offenbar um so kleiner sein wird, je fester man sie aneinander presst. In dem in obiger Figur dargestellten Regulator sind z. B. vier durch verticale Zwischenwände von Schiefer von einander getrennte Reihen derartiger, aufeinander geschichteter Kohlenplättchen *A* angebracht, welche einen fortlaufenden von der Endklemme G zu G_1 führenden Widerstand bilden, und es wird dieser ganze Kohlenplattensatz durch Dräthe, die von G und G_1 zu den beiden Polklemmen der Dynamomaschine führen, in der Art in deren Leitung eingeschaltet, dass dadurch ein Nebenschluss zu den Drathspulen der das magnetische Feld der Dynamomaschine bildenden Elektro-

[1]) James Dredge, Electric illumination p. 427 ff.

magnete entsteht. Hiernach ist klar, dass, wenn der Nebenschluss einen grossen Widerstand hat, der Haupttheil des von der Maschine erzeugten Stromes durch die Umwindungsdräthe der Erregungs-Elektromagnete hindurchgehen, und die Stärke des magnetischen Feldes dem entsprechend eine beträchtliche Grösse haben wird; während andererseits, wenn der Nebenschluss nur einen kleinen Widerstand erhält, nunmehr von ihm ein grösserer Bruchtheil des Stromes aufgenommen und den Umwindungsdräthen der Erregungs-

Fig. 82.



Elektromagnete wird entzogen werden, so dass dann deren magnetisches Feld an Kraft abnehmen würde. Die Veränderung des Widerstandes des aus den Kohlenplättchen gebildeten Nebenschlusses wird dadurch bewirkt, dass der Hebel E (Fig. 82), in Folge der anziehenden Wirkung der vom Hauptstrom durchflossenen Solenoidspulen C und C_1 auf ein Paar in sie hineinragender in die Eisenplatte D eingesetzter weicher Eisenkerne, je nach der gerade vorhandenen Stromstärke die Kohlenplättchen verschieden stark zusammenpresst.

Mithin, wenn irgend welche Lampen desselben Stromkreises ausgelöscht werden, so wird in Folge des jetzt geringeren Widerstandes der Leitung nun ein stärkerer Strom durch die Solenoidspulen C und C_1 fliessen, die Eisenkerne stärker anziehn und hierdurch ein innigeres Aneinanderpressen der Kohlenplättchen bewirken, was einen geringeren Widerstand der Nebenschliessung und demgemäss eine Schwächung des Stromes in den Erregungs-Elektromagneten der Dynamomaschine, sowie übrigens gleichzeitig auch einen geringeren Kraftaufwand zu ihrem Betriebe zur Folge hat.

Werden umgekehrt neue Lampen entzündet, so verläuft der Process in genau der entgegengesetzten Richtung und die zum Treiben der Dynamomaschine erforderliche Kraft wird der dann zu leistenden Arbeit wieder proportional sein. Auf diese Weise regulirt der Apparat z. B. eine sog. 40-Lichtermaschine selbstthätig so, dass die Zahl der brennenden Lampen beliebig innerhalb der Maximalanzahl variirt werden kann, ohne dass die Umdrehungsgeschwindigkeit des Stromgenerators irgend welche Aenderung zu erhalten brauchte.

Capitel IV.

Das System Weston.

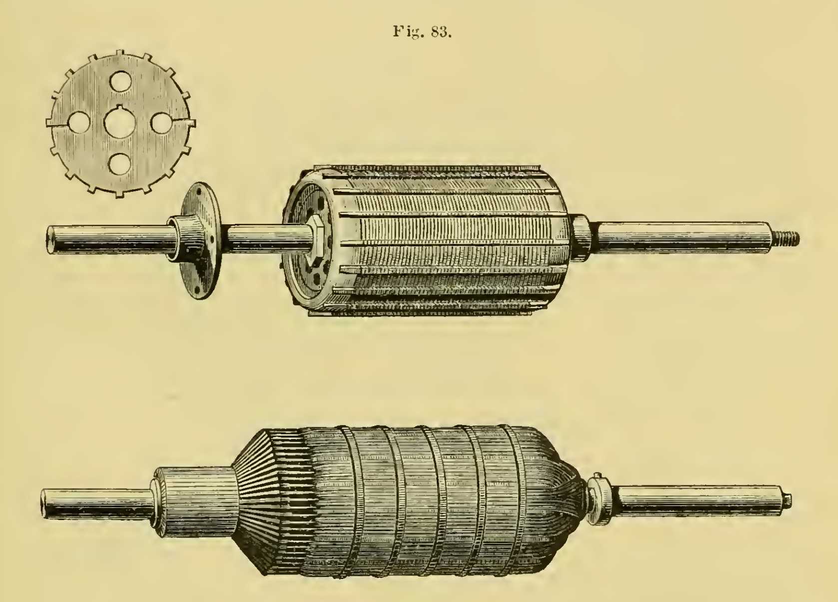
§ 81. Weston's Dynamomaschine.

Die Weston'sche Dynamomaschine für Bogenlichtbetrieb entspricht in ihrer äusseren Gestalt und Form genau derjenigen seiner Glühlichtmaschine (Fig. 37 pag. 112) und unterscheidet sich von ihr nur durch die Art der Wickelung. Während bei letzterer[1]) die sogenannte gemischte Schaltung angewendet war, deren Schema Fig. 38 zeigte, so ist bei den zum Bogenlichtbetrieb bestimmten Weston'schen Dynamomaschinen die Wickelung nach Art der

[1]) Vgl. p. 113.

Wheatstone'schen Nebenschlussmaschinen[2]) (Fig. 13 p. 41) ausgeführt. Die ganze Maschine ist direct aus der Siemens'schen Dynamomaschine hervorgegangen, wie das auch schon ihre äussere, gegenwärtige Gestalt deutlich genug zeigt, die sich übrigens von der früheren wesentlich dadurch unterscheidet, dass bei letzterer eine Reihe einzelner Elektromagnetschenkel nach Art der Edison-schen „Feldmagnete" verwendet waren, während bei den späteren Wandlungen, die Weston seine Maschinen durchmachen liess, sich die äussere Gestalt der Maschine immer mehr und mehr ihrem ursprünglichen Vorbilde[3]) wieder genähert hat.

Fig. 83.



Ueberhaupt zeichnen sich sämmtliche das Weston'sche Bogenlicht-System bildenden Apparate eigentlich durch den Mangel jeglicher Originellität aus: die Maschinen sind eine Copie der Siemens-schen[4]) mit Benutzung der Wheatstone'schen Nebenschluss-Schaltung, die Lampen ein getreues Nachbild der Brush'schen Bogenlichtlampen, nur der eiserne Innenkern der Armatur der Maschine und

---

[2]) Vgl. p. 111.

[3]) Weston war früher in England Agent für Siemens & Halske.

[4]) Vgl. die Abbildung der Siemens'schen Dynamomaschine Fig. 10 p. 39.

der Stromregulator sind Weston's eigene Erfindung. Ersterer ist, um das Auftreten Foucault'scher Ströme unmöglich zu machen, durch Aufeinanderschichten einer grossen Zahl einzelner, von einander isolirter Eisenblechscheiben hergestellt, von denen Fig. 83 eine zeigt. Diese sämmtlichen Einzelscheiben werden durch 2 dicke Endplatten, gleichfalls aus weichem Eisen, zusammen- und auf der Axe festgehalten. Wie aus Fig. 83 ersichtlich, sind die Eisenblechscheiben mit Löchern versehen und an ihrem Rande radartig gezackt, Letzteres, um so parallel der Trommelaxe verlaufende einzelne Abtheilungen zu erhalten, in welche der Drath der Armatur hineingewickelt werden kann. Die von zwei Löchern nach aussen geführten Sägeschnitte der einzelnen Eisenscheiben dienen dazu, um eine kräftige Ventilation der Trommelbewickelung durch die vermöge der Centrifugalkraft bewegte Luft zu ermöglichen. Die Art der Drathwickelung der Armatur sowie der Collector entspricht vollkommen der v. Hefner'schen; die Anzahl der Abtheilungen, in welchen die Wickelung ausgeführt ist, sowie dementsprechend die der Collectorsegmente ist verschieden je nach der Grösse der Maschine, stets aber hinreichend gross, um die von der Maschine erzeugten Ströme möglichst gleichmässig und pulsationslos zu gestalten.

§ 82. Weston's Strom-Regulator.

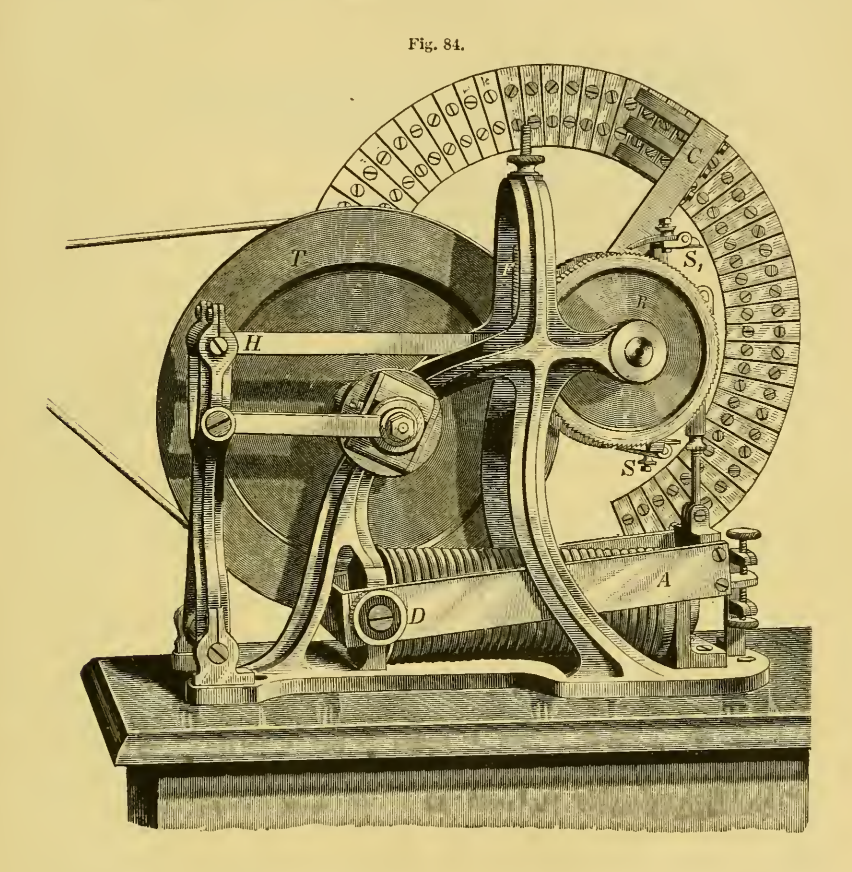
Zum Reguliren und Constanthalten der Stromstärke bei den Weston'schen Bogenlicht-Anlagen dient der in Fig. 84 dargestellte Apparat. Der wesentlichste Theil desselben wird durch eine Reihe gleich grosser Drathwiderstände gebildet, von denen jeder einzelne mit 2 nebeneinander liegenden Messingstreifen[1]) verbunden ist. Die letzteren sind sämmtlich, wie an der Figur ersichtlich, auf einem Kreisbogen angeordnet und werden von einem Schleifcontact *C* berührt, welcher mit dem Räderpaar *R* fest verbunden ist und demnach stets dessen Drehung folgen muss. Dieser den eigentlichen Widerstands-Regulator bildende Theil des Apparates dient zur Regulirung der Stärke des magnetischen Feldes der Dynamomaschine und ist in genau der gleichen Art, wie wir das früher (pag. 67)

---

[1]) Dieselben sind auf der Rückseite der Contactstreifen angeschraubt.

bei den Edison'schen Maschinen gesehen haben, in die Leitung des Umwindungsdrathes der Erregungselektromagnete der Maschine eingeschaltet. Zu dem Zwecke ist der Schleifcontact *C* mit einer, der erste der zuvor erwähnten messingenen Contactstreifen mit einer zweiten Verbindungsklemme versehen. Dreht man nun den Schleifcontact *C* über die Messingcontacte hin, so werden dadurch

Fig. 84.



je nach der betreffenden Stellung von *C* andere und andere Widerstände in die Umwindungsdräthe der Erregungs-Elektromagnete der Dynamomaschine eingeschaltet und somit das magnetische Feld der letzteren in seiner Stärke in der gewünschten Weise verändert werden können. Um dieses durch den elektrischen Strom selbst zu bewirken, dient ein auf dem Boden des Apparates hori-

zontal liegender, vom Hauptstrom umflossener Elektromagnet, welcher, seinem jeweiligen magnetischen Zustande entsprechend, verschieden stark auf einen Anker wirkt, der an dem um *D* drehbaren Arme *A* angebracht ist und gleichzeitig an der Regulirungsschraube *F* sammt einem zweiten um *H* drehbaren und die Sperrklinken *S* S_1 tragenden oberen Arme hängt. Es wirkt der Zug resp. die Spannung der Feder *F* somit der ziehenden Wirkung des horizontalen Elektromagneten entgegen. Ferner wird vermittels einer vom treibenden Motor der Dynamomaschine durch eine Schnur auf das Rad *T* übertragenen Dreh-Bewegung und mit Hülfe eines Krummzapfens eine das Sperrklinkenpaar *S* und S_1 tragende, in der Figur durch das vordere Zahnrad *R* verdeckte, verticale Stange zu beständigem Hin- und Herpendeln gebracht, und dadurch, je nachdem die Stärke des Elektromagneten zu gross oder zu klein ist, entweder die Sperrklinke S_1 mit dem vorderen, oder *S* mit dem hinteren der beiden um eine gemeinsame Axe drehbaren und mit einander und mit der Contactfeder *C* fest verbundenen Räder[2]) *R* zum Eingriff gebracht. Dementsprechend wird der Schleifcontact *C* links resp. rechts herumgedreht, bis durch das so bewirkte Einschalten von Regulatorwiderstand das magnetische Feld der Dynamomaschine in passender Weise verändert ist, und der den Regulatorelektromagneten umkreisende, und die Bogenlicht-Lampen speisende Strom wiederum seine vorgeschriebene Grösse erreicht hat.

§ 83. Weston's Bogenlicht-Lampen.

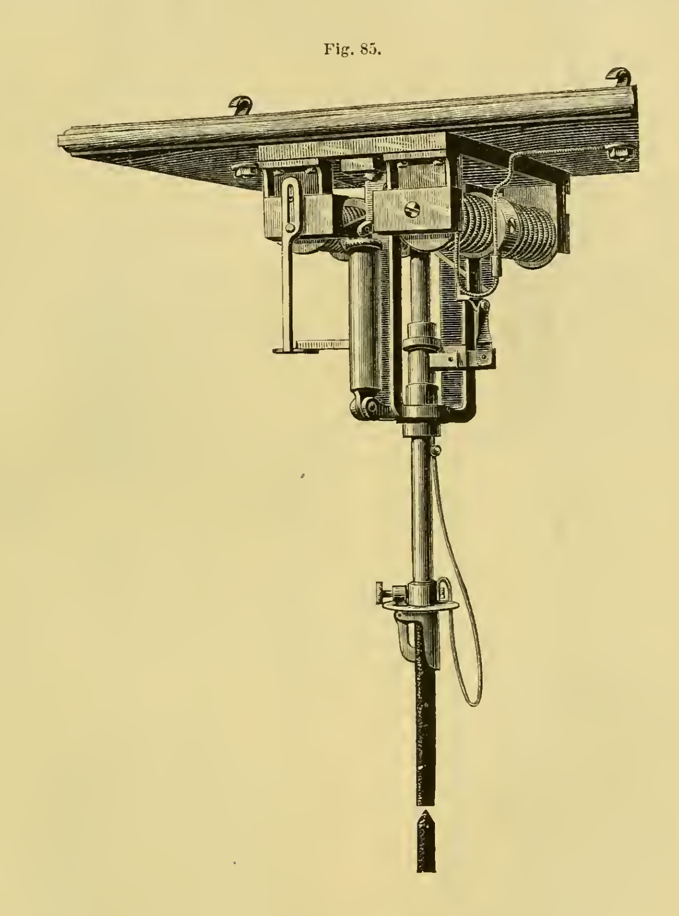
Der Regulirungs-Mechanismus der Weston'schen Differentiallampen entspricht in seinen wesentlichen Theilen, wie bereits zuvor bemerkt, durchaus dem der Brush-Lampen. Der einzige Unterschied besteht in der horizontalen Lage der Differential-Elektromagnete und deren Wickelung. Während nämlich bei Brush's Lampen erst dicker und dann dünner Drath auf die Doppelspulen aufgewickelt ist, hat es Weston vorgezogen, zunächst feinen, dann dicken und dann wieder dünnen Drath aufzuwinden, eine Aenderung, die ohne ersichtlichen Zweck und ohne irgend welchen Vortheil sein muss, ebenso wie es ja auch völlig gleichgültig ist,

---

[2]) Die Zahnstellung beider Räder ist demgemäss eine entgegengesetzte.

ob man zu der bei den Brush'schen Lampen angebrachten, zum theilweisen Gewichtsausgleiche der Kohlen, Kohlenhalter etc. dienenden Feder *H* (Fig. 77 und 78, p. 254) eine Spiralfeder benutzt, oder, wie das Weston thut, diese durch elastische, biegsame Stahlstreifen ersetzt. Der von Brush erdachte Klemmmechanismus der

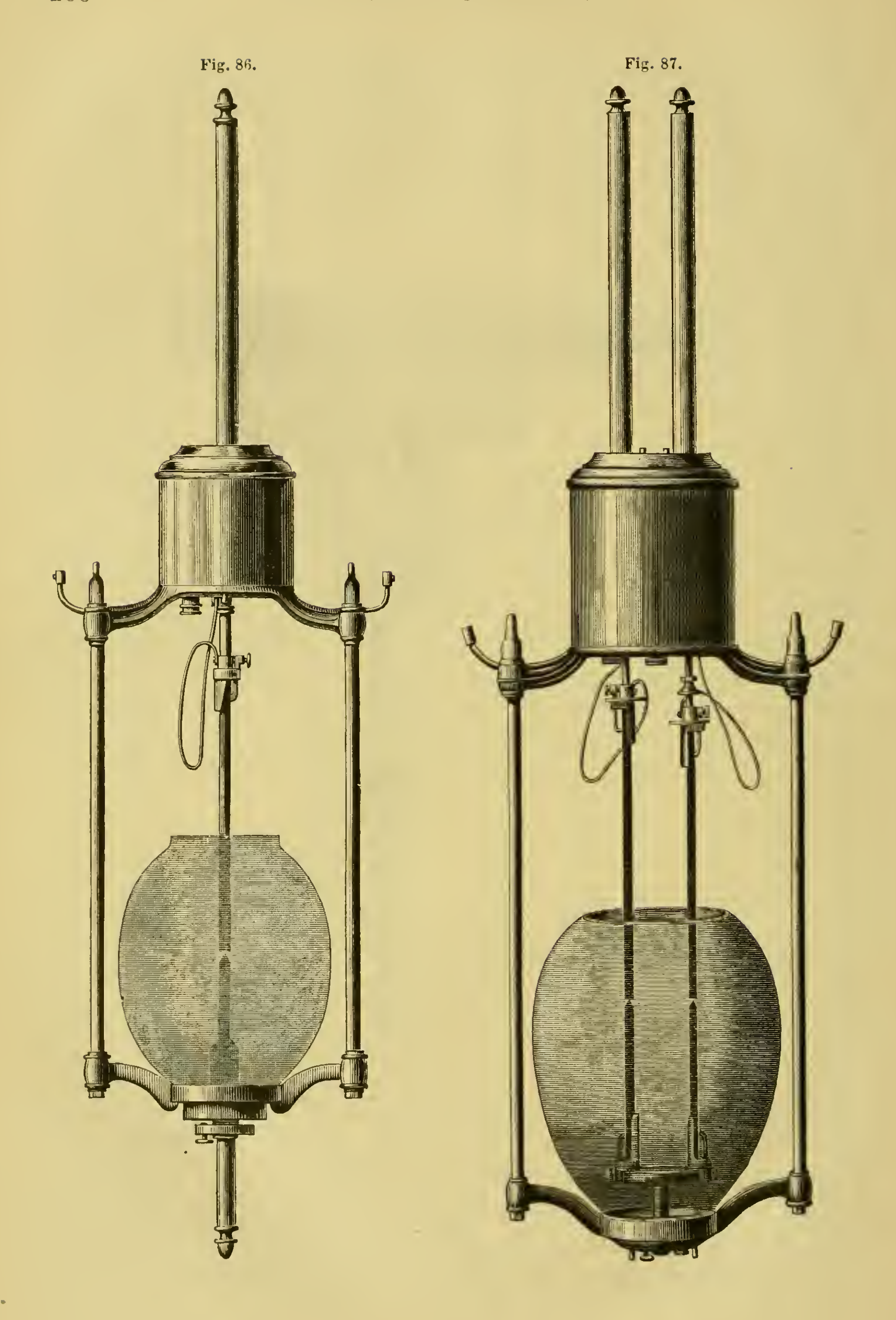
Fig. 85.



Kohlenhalter findet sich bei den Weston'schen Lampen in fast genau der gleichen Form wieder. Fig. 85 giebt eine Ansicht des Mechanismus der Weston'schen Lampen, Fig. 86 und 87 die der letzteren selbst. Die Figuren zeigen ausserdem auch noch die Art der Klemmen, welche zum Fixiren der, gleichfalls wie bei Brush, galvanisch überkupferten Lampenkohlen dienen.

Fig. 86.

Fig. 87.



Uebrigens bewegt sich bei den Weston'schen, ebenso wie bei allen übrigen, zum gewöhnlichen Gebrauch dienenden Differential-Lampen nur die Oberkohle, während die als Projectionslampen zur Verwendung bei Leuchtthürmen oder Schiffen etc. bestimmten eine gleichzeitige Bewegung beider Kohlenstifte haben und dadurch den Ort des Lichtbogens selbst constant zu halten erlauben.

Die Länge des Lichtbogens bei den Weston'schen Lampen beträgt nicht mehr als 0,8 bis 1 mm, wodurch es ermöglicht wird, die Lampen bei der niedrigen Spannung von nur 25 Volt zu brennen. Dieser Umstand, sowie die Constanz resp. Pulsationslosigkeit des durch den vieltheiligen Collector der Weston'schen Maschinen gelieferten elektrischen Stromes machen das Weston'sche Bogenlichtsystem ganz besonders sicher und schliessen die grosse Lebensgefährlichkeit aus, welche anderen Systemen bei grosser Zahl hintereinander in eine Leitung eingeschalteter Bogenlicht-Lampen nothwendigerweise anhaftet.

Die Farbe des Lichtes ist angenehm und weiss, während Bogenlicht-Systeme, welche lange Lichtbogen verwenden, leicht bläuliches Licht ergeben, hingegen haben die Weston'schen, sowie alle Lampen mit kurzem Lichtbogen, den Nachtheil, häufig summend und zischend zu brennen.

Zum Schluss wollen wir nicht unterlassen, zu erwähnen, dass alle Weston'schen Maschinen, Lampen und Apparate ganz ausnehmend sauber und sorgfältig gearbeitet sind und sich dadurch vortheilhaft vor denen aller anderen amerikanischen elektrischen Companieen auszeichnen.

Capitel V.

Das System Thomson-Houston.

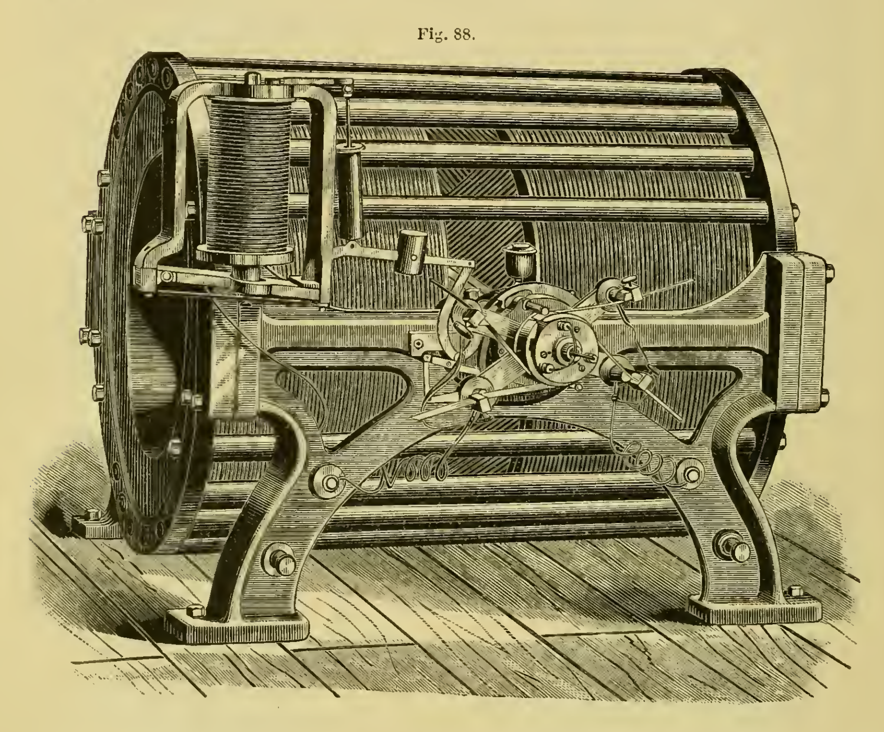
§ 84. Thomson-Houston's Dynamomaschine.

Das Thomson-Houston'sche[1]) Bogenlicht-System verdient in mehrfacher Beziehung besondere Beachtung, einerseits weil es, wie wir schon früher erwähnten, von den amerikanischen Bogenlicht-

[1]) Prof. Elihu Thomson in New Britain, Conn.
„ Edwin J. Houston in Philadelphia.

Systemen jedenfalls das ruhigste, gleichmässigste Licht giebt, andererseits weil auch die Thomson-Houston'sche Dynamomaschine (Fig. 88) in Folge ihrer nur dreitheiligen Armaturwickelung sich wesentlich von den sonst gebräuchlichen Dynamomaschinen unterscheidet. Auf zwei durch horizontale Eisenstangen verbundene Eisenringe (Fig. 88) sind starke eiserne Cylinder gesetzt und mit einigen Lagen dicken Drathes bewickelt, so dass man auf diese Weise einen Elektromagneten erhält, dessen Pole in den von den

Fig. 88.



horizontalen Eisenstangen umschlossenen Raum hineingestülpt sind. Letztere dienen einestheils zur Verbindung der die Elektromagnete tragenden dicken Eisenringe, anderentheils aber gleichzeitig als Schutz für die Maschine gegen Beschädigungen durch etwaiges Hinauffallen fremder Gegenstände. Die Armatur der Dynamomaschine selbst ist, zum Unterschiede anderer ähnlicher Apparate, kugelförmig gestaltet. Sie hat in ihrem Innern eine stählerne Axe, auf welche ein eiserner, länglicher, ellipsoidisch gestalteter Hohl-

körper aufgesetzt ist, dessen Gestalt durch Aufwickeln 2 mm dicken, lackirten Eisendrathes in eine Kugel verwandelt wird, und der als Kern für die Armatur zu dienen hat. Senkrecht zu den Eisendrath-Windungen, also, soweit es angeht, parallel der Axe der Armatur, ist dann isolirter Kupferdrath in drei Abtheilungen aufgewickelt, welche letzteren unter einander zu einer einzigen Drathleitung verbunden sind und mithin als ein einzelner dreitheiliger Drath wirken. Die kugelförmige Gestalt der Thomson-Houston'schen Armatur hat den Vortheil, dass deren Kupferdräthe nicht durch Centrifugalkraft lose werden können und im Gegensatz zu den cylindrischen Trommelinductoren keiner weiteren Befestigungsdräthe bedürfen, ferner dass in Folge dieser eigenartigen Bauart die Kugel-Armatur fast allseitig, wie aus der Figur ersichtlich ist, von den Erregungs-Elektromagneten der Dynamomaschine eingeschlossen und demgemäss einer sehr kräftigen Inductionswirkung unterworfen ist.

Entsprechend der nur dreitheiligen Armaturwickelung besteht auch der Commutator oder Collector der Maschine aus nur drei, übrigens leicht auswechselbaren Segmenten, was allerdings den Vortheil grosser Einfachheit der Drathführung gegenüber den vieltheiligen Collectoren anderer Maschinen bietet, aber dafür den Nachtheil hat, dass der Verlauf der erhaltenen Ströme längst nicht ein so gleichmässiger als dort ist. Die Kupfersegmente des Commutators sind mittels kleiner isolirender Träger auf die Axe der Armatur aufgesetzt und sonst allseitig von Luft umgeben; die von den drei Abtheilungen der Inductorwickelung zu den Segmenten gehenden Dräthe sind isolirt durch die an ihrem Ende ausgebohrte Axe der Armatur geführt. Zur Stromentnahme dienen vier Schleif-Bürsten, deren drehbare Träger durch den in Fig. 88 an der linken Seite der Maschine sichtbaren Stromregulator stets eine solche Lage angewiesen erhalten, dass der von der Maschine gelieferte Strom die gewünschte Stärke erhält[2]), was dann aber häufig zu starker Funkenbildung am Commutator Anlass giebt. Um dies möglichst zu vermeiden, hat Thomson an der Maschine einen kleinen Gebläse-Apparat angebracht, dessen Ausströmungsöffnungen nahe den Enden der Contact-Bürsten stehen und jedesmal, wenn diese letzteren die Kupfersegmente des Collectors verlassen, einen kräftigen Luftstrom

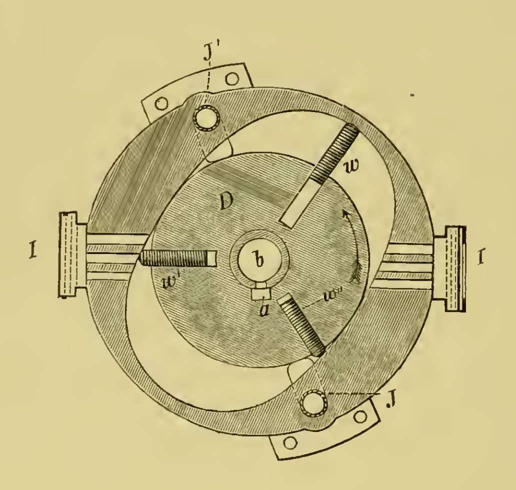
---

[2]) Vgl. § 85.

ausstossen. Hierdurch werden die durch Funken etwa am Commutator zwischen den Segmenten sich bildenden Lichtbögen ausgeblasen und verlöscht.

Fig. 89 zeigt die soeben erwähnte Gebläsevorrichtung im Durchschnitt. Auf die Axe *b* der Maschine ist vermittels der Schraube *a* ein etwa 2 cm hoher, gerade abgeschnittener Cylinder *D* aufgesetzt, in den an 3 Stellen Schlitze eingefeilt sind, welche zur Aufnahme leicht verschieblicher Hartgummiplättchen *w w' w''* dienen. Derselbe ist sammt den Plättchen *w w' w''*, wie aus Fig. 89 ersicht-

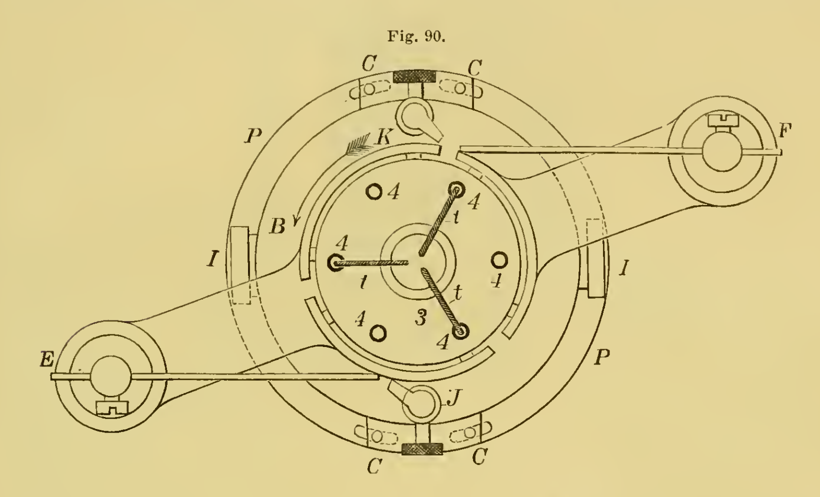
Fig. 89.



lich, umschlossen von einem elliptisch ausgehöhlten Körper *I J' I J*, welcher fest mit dem Gestell der Dynamomaschine verbunden und vorn und hinten durch Plättchen geschlossen ist, welche nur die Armaturaxe durch sich hindurchlassen. Die hierdurch erhaltene Büchse ist an vier Stellen angebohrt; zwei dieser Bohrungen durchsetzen bei *I I* die Wand derselben, während auf einem zu *I I* senkrechten Durchmesser zwei durch die eine Bodenplatte der Büchse hindurchgeführte und nach aussen mündende Bohrungen *J J'* parallel der Axe der Büchse angebracht sind, welche mit den Innenraum derselben durch Seitenbohrungen communiciren. Auf die eben erwähnten, nach aussen (d. h. in Fig. 88 nach vorn) führenden

Bohrungen $J\,J'$ sind, wie aus Fig. 90 deutlicher hervorgeht, kleine nach den Enden der Collectorbürsten hin gerichtete Mündungsröhrchen aufgesteckt. Ist die Dynamomaschine in Gang, so werden die kleinen Hartgummiplättchen $w\,w'\,w''$ in Folge der Centrifugalkraft stets nach aussen gegen die Wand des Hohlraumes geschleudert werden und gleichzeitig, wenn die Rotation im Sinne des Pfeiles (Fig. 89) statt hat, die im leergebliebenen Theile des Hohlraumes der Büchse enthaltene Luft mehr und mehr comprimiren, vor sich herschieben und somit durch J und J' resp. durch die auf diese Oeffnungen aufgesteckten Mundstücke J und K (Fig. 90) in scharfem Strahle ausstossen. Damit sich nicht Lichtbögen zwischen

Fig. 90.



den Collectortheilen, den Metalltheilen der Maschine und den Ausblaseröhrchen J und K selbst bilden, sind zwischen letztere und die zugehörigen Bohrlöcher isolirende Zwischenröhrchen aus Hartgummi eingesetzt. Die Enden der Collectorsegmente bestehen aus Rothgussstreifchen, die durch Einschrauben neuer leicht ausgewechselt werden können, wenn jene etwa in Folge längeren Gebrauches allmälig mehr und mehr verbrannt sind.

Die grösseren Dynamomaschinen Thomson-Houston'scher Construction sollen $^2/_3$ bis $^3/_4$ Pferdekraft für je ein Bogenlicht von 2000 Normalkerzen (nominell) Lichtstärke erfordern. Die Bauart sämmtlicher Maschinen ist die gleiche, im Besonderen sind die Armaturwindungen stets nur dreitheilig.

Die Preise der von der Companie gelieferten Maschinen und Lampen etc. sind folgende:

Anzahl der Bogenlichter à 2000 N.-K. (nominell)	erforderte Anzahl Pferdekräfte	Tourenzahl pro Minute	Preis M.
2	2	1250	1600
3	3	„	2000
4	3½	1000	2700
6	5	„	4800
12	9	950	6000
16	12	900	8000
20	14	850	8800
25	16	„	10400
30	19	„	12000

Preis der Thomson-Houston'schen Bogenlichtlampen à Stck. 260 M.
„ des „ Stromregulators „ 400 „

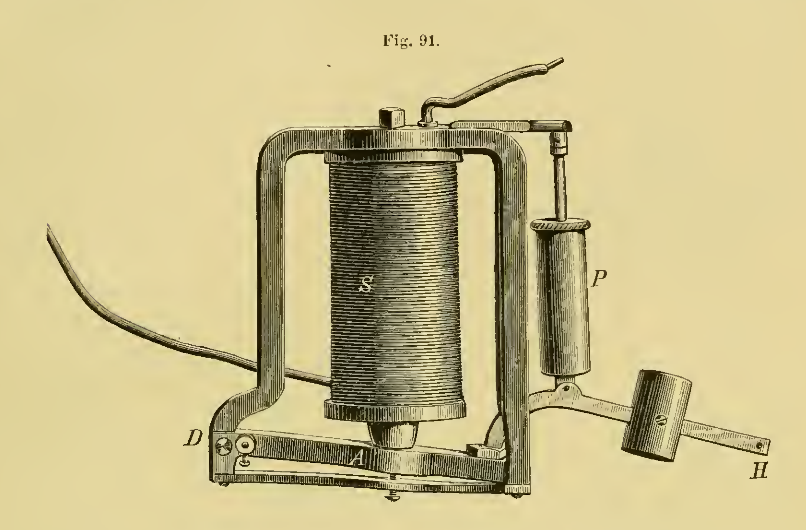
§ 85. Thomson-Houston's Stromregulator.

Die Regulirung der Thomson-Houston'schen Dynamomaschinen in der Art, dass der von ihr gelieferte Strom stets die gleiche Intensität behält, geschieht vermittels des in Fig. 91 dargestellten Apparates. Derselbe besteht aus einer in den Hauptstromkreis der Maschine selbst eingeschalteten dickdrathigen, hohlen Spirale *S*, welche je nach der Intensität des sie durchfliessenden, elektrischen Stromes verschieden tief einen am Arm *A* angebrachten, in sie hineinragenden Eisenkern in sich hineinzieht und dadurch die Bürstenstellung regulirt. Der Arm *A* ist zu dem Zweck um *D* drehbar und mit der Stange *H* fest verbunden, welche letztere direct an die Träger der Collectorbürsten angreift und denselben stets eine solche Stellung anweist, bei welcher die beiden Contactbürsten auf passend hohen Potentialunterschied kommen, so zwar, dass der in der betreffenden Leitung erzeugte Strom die gewünschte Stärke erhält. Um ruckweise eintretende Bewegungen des Armes *H* zu vermeiden, ist an ihm eine Pumpe *P* angebracht, deren Kolben feststeht. Die Gestalt des in die Spirale *S* hineinragenden Eisenkerns ist conisch, um eine von der Stellung desselben möglichst unabhängige, gleichmässige Anziehung der Spirale *S* zu sichern.

Da der Apparat auf constante Stromstärke regulirt, so gleicht er

also auch Stromschwankungen aus, welche Folge von Ungleichmässigkeiten im Gange des treibenden Motors sind. So z. B. sollen die Thomson-Houston'schen Bogenlichtlampen in Folge dieser Selbstregulirung der Maschinen nahezu ungeänderte Lichtstärke selbst dann zeigen, wenn man die Umdrehungszahl der Armatur in kurzen Zwischenräumen zwischen 900 und 1300 pro Minute wechseln lässt, wie das in Fabriken bei Motoren häufig der Fall ist,

Fig. 91.



die ausser der Lichtmaschine noch andere Maschinen zu treiben haben, welche zeitweise sehr verschiedene Mengen Kraft erfordern. Der Thomson-Houston'sche Stromregulator functionirt somit mit der gewünschten Sicherheit, ja sogar der Art, dass man die Maschine ohne Gefahr selbst kurz schliessen kann; er hat hingegen den Uebelstand, dass im Allgemeinen der Strom nicht an den Stellen grössten Potentialunterschiedes vom Collector abgenommen wird, was dann zu eventuell sehr starker Funkenbildung an ihm Anlass giebt.

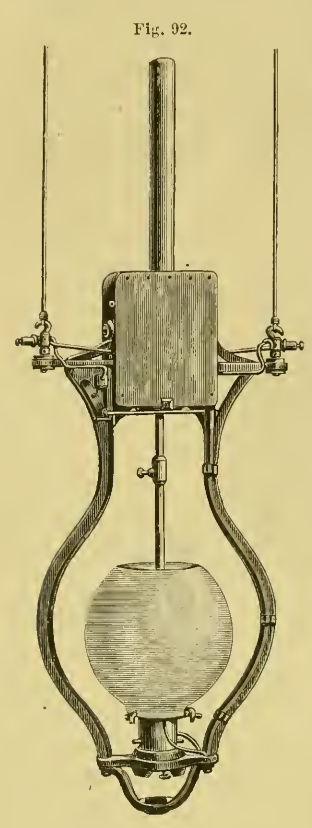
§ 86. Thomson-Houston's Bogenlichtlampe.

Fig. 92 giebt die perspectivische Ansicht der Thomson-Houston'schen Lampen[1]), Fig. 93 deren innere Einrichtung. Letztere ist derjenigen der Brush'schen Lampen hinsichtlich des Klemm-

[1]) Kostenpreis der Lampen siehe pag. 272.

mechanismus des oberen Kohlenhalters durchaus ähnlich. Der Hauptunterschied besteht darin, dass an Stelle des von Brush verwendeten Spulenpaares mit übereinanderliegender dick- und dünndrathiger Bewickelung deren zwei getreten sind, von denen das obere den dünnen, das untere den dicken Drath trägt. Ebenso wie die Brush-sche Lampe, so enthält auch die Thomson-Houston'sche keinerlei Uhrwerk, die Regulirung der Lichtbogenlänge geschieht vielmehr ausschliesslich durch die Wirkung der Schwere einerseits und durch die Differentialwirkung zweier Spulenpaare andererseits, von denen das dünndrathige Paar wieder, wie bei der Hefner-Alteneck'schen Differentiallampe, als Nebenschluss zum Lichtbogen geschaltet ist, während durch die dickdrathigen Spulen der Hauptstrom fliesst. Auch hier wieder sind, genau so wie bei dem Stromregulator, die in die Drathspulen hineinragenden Eisenkerne conisch gestaltet, eine Form, die zuerst Križick & Piette bei ihren vortrefflichen Bogenlichtlampen angewendet haben. Die beiden Eisenkernpaare sind an einem gemeinsamen, um eine horizontale Axe drehbaren, zweiarmigen Hebel befestigt, der je nach seiner im einen oder im anderen Sinne stattfindenden Bewegung die Klemmung des Kohlenhalters auslöst resp. zur Thätigkeit bringt.

Fig. 92.



Selbstverständlich enthält eine jede Lampe einen automatisch wirkenden Ausschalter, der im Falle etwaigen Versagens derselben in Wirkung kommt und die Lampe in sich kurz schliesst, so dass dann die anderen in denselben Stromkreis eingeschalteten Lampen trotzdem ungestört weiter brennen können.

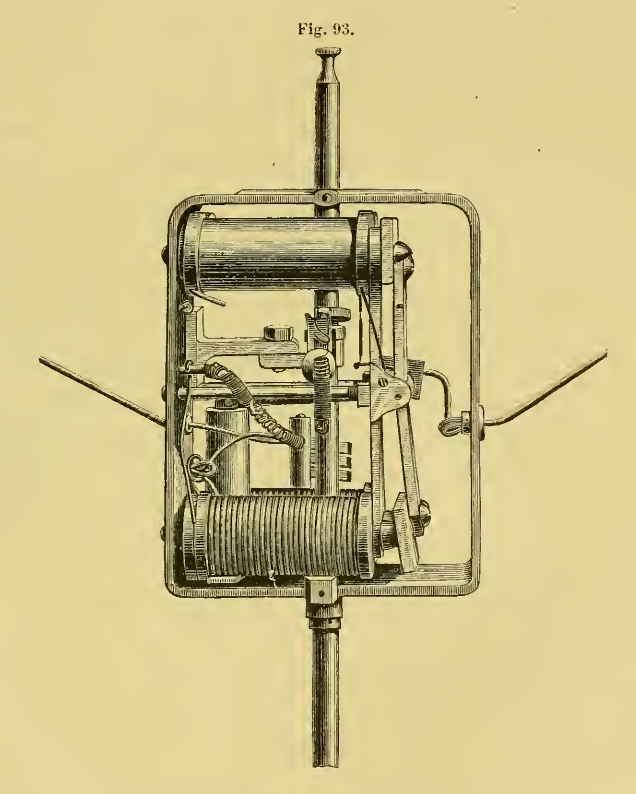
Capitel VI.

Die Kosten der elektrischen Bogenlichtbeleuchtung.

§ 87. Vorbemerkungen allgemeinerer Art. — Anlage- und Betriebskosten.

Wir gehen nunmehr zur Besprechung der Kostenfrage elektrischer Bogenlichtbeleuchtungen über. Hauptsächlich würde auch

Fig. 93.



hier, ähnlich wie bei den Glühlichtanlagen, eine genaue Preisvergleichung des Gas- und des elektrischen Lichtes von Interesse sein, indess treffen wir dabei auf ganz ausserordentliche Schwierigkeiten, deren Grund besonders darin liegt, dass die Bogenlichtlampen im

Vergleich zu gewöhnlichen Gasflammen eine so ausnehmend grosse Lichtstärke besitzen. In dieser Beziehung war ein Vergleich der Kosten von Gas- und elektrischer Glühlicht-Beleuchtung viel eher durchführbar.

Wir haben bereits bei Besprechung dieser letzteren die Schwierigkeit, einander wirklich äquivalente Beleuchtungen ihrem Preise nach zu vergleichen, hervorgehoben und können daher hier bezüglich dieses Punktes im Allgemeinen auf Capitel IV des zweiten Abschnittes[1]) verweisen. Der Werth des elektrischen Lichtes liegt ja auch in etwas ganz Anderem, als bloss in der grösseren oder kleineren Helligkeit, die bei gewissem Kostenaufwande erzeugt werden kann; er liegt vielmehr in der Art, in den Eigenschaften des erhaltenen Lichtes. Vergleicht man daher Lichtquellen, welche bezüglich ihrer Lichtstärke einander gleichwerthig sind, ihrem Preise nach, ohne die sonstigen Eigenschaften derselben zu berücksichtigen, so kann das erhaltene Resultat einer solchen Preis- oder Werthvergleichung immer nur ein schiefes sein. Ein wirkliches, gegenseitiges Abwägen dieser sonstigen Eigenschaften verschiedenartiger Lichtquellen dürfte indess wohl kaum je in genügender allgemein gültiger Weise durchführbar sein, um so mehr als auch der Werth eben dieser Eigenschaften nur ein sehr relativer ist. Während es z. B. bei Beleuchtungen von Strassen, Plätzen, Bahnhofshallen etc., nur auf die erzeugte Helligkeit ankommt und es daher ganz gleichgültig ist, ob das erzeugte Licht von gleichzeitigem Auftreten von Wärme und von Verbrennungsgasen begleitet ist, oder nicht, so beruht in anderen Fällen z. B. bei Beleuchtungen von Läden etc., gerade der Hauptwerth des elektrischen Lichtes darin, dass es davon frei ist; in wieder anderen Fällen z. B. bei der Textil- und Färberei-Industrie gewährt das elektrische Bogenlicht die Möglichkeit, Farbennüancen auch am Abend genau zu erkennen und zu unterscheiden, und ist hierdurch allen anderen künstlichen Beleuchtungsarten so weit überlegen, dass es eigentlich die einzige, in diesem Falle anwendbare Art künstlicher Beleuchtung überhaupt ist. Aber auch da, wo es auf derartige Eigenschaften des zu verwendenden Lichtes, wie z. B. bei Strassenlaternen nicht ankommt, erwächst schon aus der Unsicherheit und der rein

[1]) § 52—57, p. 136—152.

mechanischen Schwierigkeit, die Lichtstärke der Bogenlichtlampen in richtiger Weise anzugeben[2]) häufig genug die Unmöglichkeit, vergleichbare Zahlen überhaupt zu gewinnen.

Jedenfalls dürfen die von den Fabrikanten angegebenen Lichtstärken nicht direct als Ausgangspunkte für anzustellende Preis-Vergleiche dienen. Wie schon früher erwähnt, ist ja die Bezeichnung der Bogenlichtlampen von Brush, Weston etc. als sog. „2000-Kerzenlampen“ eine völlig willkürliche, welche eigentlich nicht einmal die Grössenordnung der Lichtstärke richtig angiebt, eben weil sie nur das Maximum der Intensität des bei gewissem Ausstrahlungswinkel[3]) ausgesendeten Lichtes ist, und es können auch daher die Vergleiche, welche auf derartige Zahlenangaben fussen, nicht den geringsten Werth haben. Durch Nebeneinanderstellen der räumlichen[4]) Lichtintensitäten der verschiedenen zu vergleichenden Lichtquellen würde man nun allerdings zu sachlich richtigen Resultaten gelangen; indess gestaltet sich die Lösung der Frage praktisch insofern noch erheblich verwickelter, als es sich im Allgemeinen nicht um die Gesammtsumme ausgestrahlten Lichtes, sondern gewöhnlich nur um dasjenige Licht handelt, welches von den Lampen nach einer gewissen Richtung hin geworfen wird. Thatsächlich dient doch auch z. B. nur das nach unten geworfene Licht bei allen Arbeitslampen in Fabriken, bei allen Strassenlaternen u. s. w. als nutzbares Licht, so dass es für derartige Preiszusammenstellungen im Grunde nur auf die Vergleichung solcher Lichtmengen zunächst ankommen könnte, welche gleiche Bodenbeleuchtung erzielen lassen.

I. Ebenso wie bei den Beleuchtungen mittels elektrischen Glühlichtes, so werden wir auch bei den Bogenlichtbeleuchtungen zwischen den durch Verzinsung und Amortisation des Anlagecapitals erwachsenden und den eigentlichen Betriebskosten zu unterscheiden haben. Die ersteren setzen sich zusammen aus den Kosten der Motoren und denen der elektrischen Anlage selbst. Naturgemäss sind gerade diese Kosten sehr grossen Schwan-

---

[2]) Vgl. § 72, p. 204 ff.

[3]) Vgl. p. 205.

[4]) Vgl. § 50, p. 133 und § 72, p. 207.

kungen unterworfen, je nachdem man einen bereits vorhandenen Motor zum Betriebe der Lichtmaschinen mitbenutzen kann, oder gezwungen ist, eine besondere Motorenanlage zum ausschliesslichen Gebrauche für die Dynamomaschinen einzurichten, je nachdem ferner die Anzahl der elektrischen Bogenlichtlampen, sowie die der jährlichen Brennstunden gross oder klein ist. Alles dieses beeinflusst wesentlich die Höhe des Preises des erhaltenen elektrischen Lichtes.

Ohne Zweifel ist deshalb auch die häufig genug anzutreffende Art der Berechnung dieser Kosten durchaus unzulässig, bei welcher für die Motoren-Anlage Nichts in der Verrechnung angesetzt ist, als nur die Mehrausgabe für Heizkohlen. Das „Journal für Gasbeleuchtung“[5]), dem wir die folgende Berechnung entnehmen, sagt daher mit vollem Recht bei Besprechung der Kostenfrage elektrischer Beleuchtung, dass, wenn man wirklich von Kostenberechnungen sprechen wolle, es doch „mehr als naiv“ sei, einen grossen zu verzinsenden und zu amortisirenden Capitalposten deswegen zu ignoriren, weil man ihn schon früher ausgegeben habe, gleichgültig, ob dies damals für den Zweck einer Betriebsreserve oder wirklich in überflüssiger Weise geschehen ist. Bei einer grossen Dampfmaschinen-Anlage müsse man den rentirlichen Antheil der Anlagekosten, welcher auf die Beleuchtung trifft, auf sicher 800 M. pro 1 Pferdekraft annehmen, und dies ergäbe, wenn man Verzinsung und Amortisation zusammen zu 10 % rechnet, jährlich 80 M. Ausgaben pro Pferdekraft.

Würde man an Stelle von Dampfmaschinen Gasmotoren anwenden, deren Kosten man, incl. Fracht, Aufstellung, Fundirung, ferner incl. der Kühlgefässe, Gas- und Wasserleitungen und sonstigem Zubehör auf 1200 bis 1500 M. pro Pferdekraft dem erwähnten Journal zufolge annehmen muss, so würden sich die Zinsen und Amortisationskosten für die Motoren-Anlage (zu gleichfalls 10 % gerechnet) auf jährlich 120 bis 150 M. ergeben.

Demgemäss erhielte man unter der weiteren Voraussetzung von 500 resp. von 1000 jährlichen Brennstunden pro Lampe

---

[5]) Journal für Gasbeleuchtung etc. von N. H. Schilling und H. Bunte, Jahrgang XXIII p. 5 ff., 1880.

bei 800 M.	Anlagekosten und	500	Brennstunden	10 Pf.
„ 1500 „	„	„ 500	„	30 „
„ 800 „	„	„ 1000	„	8 „
„ 1500 „	„	„ 1000	„	15 „

woraus ersichtlich ist, dass diese sich aus der Verzinsung und Amortisation der Motoren-Anlage zusammensetzenden Kosten um mehr als das Dreifache ihres Betrages verschieden sein können.

II. Würde man weiter[6]) zur Berechnung der Anlagekosten für die Lichtmaschinen und Lampen annehmen, es koste z. B. 1 Siemens'sche Wechselstrom-Maschine für 4 Lampen complet 1600 M., so würden die pro Lampe entfallenden Kosten der elektrischen Anlage sich folgendermaassen stellen:

Antheil der Maschine für 1 Lampe	400 M.
1 Differentiallampe	210 „
Glasballon dazu	25 „
Aufhängevorrichtung, Leitungsdräthe etc. .	150 „
Fracht und Verpackung, angenommen zu .	20 „
Montage, Inbetriebsetzung, Ueberwachung .	50 „
mithin für eine Lampe incl. Maschine ca.	855 M.

Diese Kosten gleichfalls zu 10% verzinst und amortisirt und auf dieselbe Anzahl der jährlichen Brennstunden vertheilt, betragen pro 1 Lampe und Brennstunde

bei 500	Brennstunden	17 Pf.
„ 1000	„	8½ „

Nimmt man hierzu noch als Verzinsung resp. Miethe des Raumes für die Motoren und Lichtmaschinen 1 bis 2 Pf. pro Lampe und Brennstunde, so würden sich nun, je nachdem die motorischen Verhältnisse mehr oder weniger günstige sind, für die gesammte Verzinsung und Amortisation der Anlage pro Lampe und Brennstunde einer Siemens'schen Differentiallampe (1 Pf.-Kr.)

bei 500	Brennstunden pro Jahr auf	35 —49 Pf.
„ 1000	„ „ „ „	17½—24½ „

ergeben.

III. Wenden wir uns jetzt zu den eigentlichen Betriebsausgaben, so haben wir hier zunächst die Betriebs- und Unterhaltungskosten für die Erzeugung der motorischen Kraft in's Auge zu fassen.

Im Falle, dass Dampfkraft angewendet wird, so ist zunächst

---

6) a. a. O. p. 6.

der Kohlenverbrauch des Kessels zu rechnen. Derselbe beträgt je nach Art und Grösse der Anlage $2^1/_2$ bis 4 kg Kohlen[7]) und demgemäss, bei einem Durchschnittspreis von 80 Pf. pro Centner, 4 bis 6,4 Pf. pro Pferdekraft und Stunde. Dazu kommt die Bedienung, resp. der Unkosten-Antheil an Bedienung, Schmier- und Putzmaterial, der bei grösseren Maschinenanlagen zu etwa 3 Pf. pro Pferdekraft und Stunde angenommen werden muss. Endlich würde für Instandhaltung des Kessels und der Maschine bei einer grösseren Anlage noch ein Betrag von etwa 1 Pf. pro Pferdekraft und Stunde hinzuzurechnen sein, so dass die Erzeugung der motorischen Kraft an Betriebs- und Unterhaltungskosten sich pro 1 Pferdekraft und Stunde auf etwa 8 bis 10 Pf. stellt.

Diese Zahlen setzen indess voraus, dass die erforderliche Kraft von einem bereits vorhandenen grossen Motor entnommen wird, und es würden sich die Betriebskosten erheblich höher stellen[8]), wenn für den Betrieb der elektrischen Beleuchtung eine ausschliesslich zu diesem Zweck dienende, kleine Dampfmaschinen-Anlage hergestellt worden ist, und zwar um so höher, je kleiner die Anlage und je geringer die Anzahl der Brennstunden im Jahr ist.

Bei Otto'schen Gasmotoren[9]) berechnet sich der Gasbedarf pro Pferdekraft und Stunde nach den deutschen Mittelpreisen zu 16—18 Pf.; ist die Anlage gross, so dass mit der Bedienung der Motoren, Lichtmaschinen und Lampen gerade 1 Maschinist vollständig beschäftigt ist, so wird man ferner für Bedienung der Motoren, für Schmier- und Putzmaterial, sowie für Kühlwasser pro 1 Pferdekraft bei 1000 jährlichen Brennstunden etwa 5 Pf., bei 500 Brennstunden etwa 9 Pf. pro Pferdekraft auf die Motoren zu rechnen haben. Hierzu würden nun noch die Kosten der Unterhaltung, die bei 1000 jährlichen Brennstunden zu 1 Pf., bei 500 Stunden zu 2 Pf. pro Pferdekraft und Stunde angenommen werden mögen, hinzuzurechnen sein. Es berechnen sich demnach die Ausgaben für Betrieb und Unterhaltung der Motoren-Anlage bei Anwendung Otto'scher Gasmotoren im Ganzen pro Pferdekraft

bei 500 jährlichen Brennstunden auf etwa	27—29 Pf.
„ 1000 „ „ „ „	22—24 „

---

7) Ist jedenfalls zu hoch gerechnet, vgl. p. 52.

8) Vgl. p. 48—49.

9) ca. 1 cbm Gasconsum pro Stunde und Pferdekraft.

IV. Für Betrieb und Unterhaltung der Lichtmaschinen, Leitungen und Lampen nimmt das „Journal für Gasbeleuchtung" bei 1000 jährlichen Brennstunden 11 Pf., bei 500 Brennstunden etwa 20 Pf. pro Pferdekraft an und gelangt demnach auf Grund der obigen Annahmen zu folgendem Kostenansatz pro Brennstunde einer Siemens'schen Differentiallampe:

	bei Annahme von 1000 Brennstunden und	
	bei vorhandener grösserer Dampf-masch.-Anlage Pf.	bei Anwendung Otto'scher Gasmotoren Pf.
an Zinsen und Amortisation für die Anlage . . .	$17^1/_2$	$21^1/_2$—$24^1/_2$
für Betrieb und Unterhaltung der Motoren-Anlage	8—$10^1/_2$	22 —24
„ „ „ „ „ Lichtmaschinen, Leitungen und Lampen	4	11
für Kohlenstifte	15	15
pro Lampe und Brennstunde	$51^1/_2$—$54^1/_2$	$69^1/_2$—$74^1/_2$

Bei Annahme von 500 Brennstunden würden sich die Kosten auf 78 bis $80^1/_2$ Pf. resp. 105—113 Pf. stellen.

§ 88. Kosten einer von Brush ausgeführten Bogenlichtanlage.

Die Brush-Companie in Cleveland hat in den von ihr herausgegebenen Prospecten einige Kostenzusammenstellungen des vermittels der Brush'schen Maschinen und Lampen erzeugten, elektrischen Lichtes veröffentlicht, von denen eine hier Platz finden mag. Dieselbe betrifft die elektrische Beleuchtungsanlage der Everett-Fabriken in Lawrence (Mass.) mit 36 Bogenlichtlampen, welchen durch zwei 18-Lichtermaschinen, die von dem Fabrikmotor aus getrieben werden, der nöthige elektrische Strom zugeführt wird. Eine dynamometrische Messung ergab, dass jede der Maschinen bei 765 Touren pro Minute $15^1/_2$ Pferdekraft zum Betriebe der 18 Bogenlichter erforderte, so dass also $\frac{31}{36}$ Pferdekraft pro 1 Lampe in Anrechnung zu bringen wäre; dies entspricht, bei dem Werthe von $5^1/_3$ Pfennig pro Pferdekraft und Stunde, einem Kostenaufwande für die Betriebskraft von

$$\frac{31}{36} \cdot 5^1/_3 = 4{,}6 \text{ Pfennig pro Lampe und Brennstunde.}$$

Der Verbrauch an Kohlenstiften beträgt pro Lampe $1\frac{1}{2}$ Kohlen (à 25 Pf.) in 7 Stunden, folglich pro Lampe und Brennstunde:

$$\frac{3}{14} \text{ Kohle, entsprechend } 5{,}4 \text{ Pf.}$$

Dazu kommen die Kosten für durchschnittlich 3,7 zerbrochene Lampenglocken (à 6,68 M.) pro Monat, was auf monatlich 24 Arbeitstage à 10 Brennstunden und die 36 in der Fabrik in Gebrauch befindlichen Lampen verrechnet, pro Lampe weitere 0,3 Pf. ergiebt.

Rechnet man ausserdem für Verzinsung und Amortisation des 30 000 M. betragenden Anlagecapitals 10 % und vertheilt den Betrag gleichfalls auf die 36 Bogenlichtlampen und 3000 Brennstunden[1]) pro Jahr, so entfallen auf jede 2,8 Pf.

Die Wartung und Bedienung der sämmtlichen 36 Lampen und Maschinen geschieht durch einen Mann, der pro Stunde 50 Pf. erhält, sodass hiernach pro Lampe und Brennstunde noch 1,4 Pf. für Wartung und Bedienung hinzuzurechnen sind.

Demgemäss stellen sich die Gesammtkosten wie folgt:

für Betriebskraft $\left(\frac{31}{36}\right.$ Pferdekraft à $5\frac{1}{3}$ Pf. pro Stunde$\left.\right)$	4,6 Pfennig
„ Kohlenstifte	5,4 „
„ Verzinsung und Amortisation	2,8 „
„ Bruch von Lampenglocken	0,3 „
„ Wartung und Bedienung	1,4 „
in Summa pro Lampe und Brennstunde	14,5 Pfennig

Aehnliche wie die im Vorstehenden mitgetheilten Zahlen findet man vielfach angegeben; der abnorm niedrige Preis erklärt sich dabei zum Theil allerdings schon durch die grosse Zahl der jährlichen Brennstunden, in obigem Beispiel 3000, dann aber auch durch den sehr niedrig angesetzten Werth der Betriebskraft und die völlige Vernachlässigung der auf die elektrische Lichtanlage fallenden Verzinsungs- und Amortisationskosten der Dampfmaschinenanlage.

Bei nur 400 Brennstunden pro Jahr pflegen die amerikanischen Fabrikanten unter Voraussetzung sonst gleich günstiger Verhältnisse wie oben, pro Lampe und Brennstunde 25 Pf. als Gesammtkosten

[1]) Im Original sind fälschlich die sämmtlichen Stunden des ganzen Jahres statt der Anzahl der jährlichen Brennstunden zur Rechnung benutzt.

zu rechnen, wovon 6 Pf. auf die verbrannten Kohlenstifte, der Rest auf die Bedienung der Lichtanlage, die Betriebskraft und Verzinsung kommen.

Selbstverständlich gelten diese Preise aber ausschliesslich für elektrische Beleuchtungsanlagen in Fabriken und nicht etwa für Stationsanlagen in Städten, wo das Anlagecapital in Folge kostspieligerer Ausstattung sämmtlicher, das elektrische Lichtsystem bildenden Apparate, Leitungen, Lampenständer etc. ungemein viel höher ist, und auch die Betriebskraft sich weit theurer stellt. Ausserdem möchte es doch wohl auch noch fraglich sein, welches Zutrauen man den oben mitgetheilten Zahlen schenken darf, und wie viel davon als lediglich aus Reclame hervorgegangen anzusehn ist.

§ 89. Die Beleuchtungs-Anlage von Siemens & Halske auf der Leipzigerstr. und auf dem Potsdamer Platz in Berlin[1]).

Die im September 1882 dem Betrieb übergebene, von Siemens & Halske ausgeführte Beleuchtungsanlage der Leipziger Strasse und des Potsdamer Platzes in Berlin umfasst 36 Differentiallampen, von denen 11 auf dem Potsdamer Platz, die übrigen 25 auf der Leipziger Strasse Aufstellung erhalten haben. Die Länge des so erleuchteten Theiles der Leipziger Strasse beträgt 820, die Breite 22 m. Die Laternen stehen in jeder der beiden Reihen zumeist 75 m von einander entfernt und sind, bis zur Laternenmitte gemessen, $5^1/_2$ m hoch. Das Maschinenhaus ist als Fachwerkbau mit massiver Vorderwand in der projectirten Verlängerung der Zimmerstrasse errichtet und 530 m von der nächsten elektrischen Laterne entfernt. In demselben wurden vier zwölfpferdige Otto-Langen'sche Gasmotoren[2]) aufgestellt, welche gänzlich unabhängig von einander je eine dynamoëlektrische Gleichstrommaschine (Modell D_0) betreiben. Drei solcher Maschinen speisen je 12 in einem Stromkreise liegende Differentiallampen, die vierte Gaskraft- sowie die vierte elektrische Maschine dient als Reserve. Durch einen sogenannten General-Umschalter kann jedes Maschinensystem an

[1]) Entnommen aus v. Hefner-Alteneck's Aufsätzen: El. Z. III p. 443—450, 1882; und V p. 60—66, 1884.

[2]) Dieselben sind nach Ablauf des ersten Versuchsjahres durch eine Dampfmaschinen-Anlage ersetzt worden.

jeden Stromkreis gelegt oder in Reserve gestellt und letztere rasch an die Stelle einer anderen Maschine im Falle einer Unregelmässigkeit eingeschaltet werden. Die elektrischen Leitungen sind in drei von einander gänzlich unabhängigen Stromkreisen unterirdisch und im Innern der Laternenschäfte in die Höhe geführt. Von einer gemeinsamen oder nicht isolirten Rückleitung oder Erdleitung wurde in Anbetracht der hohen Spannung der verwendeten Ströme abgesehen, so dass also z. B. in der Wilhelmstrasse zwischen dem Maschinenhaus und der ersten Lampe sechs Kabel nebeneinander liegen. Das Legen der Kabel und Aufstellen der Laternen wurde innerhalb des Zeitraumes von nur 12 Arbeitstagen und ohne jede Verkehrsstörung ausgeführt. Es waren dabei 5 Uebergänge von Strassen mit Asphaltpflaster auszuführen, welche durch Unterbohrung des Strassendammes und eingeschobene eiserne Rohre hergestellt wurden.

Besonderes Interesse bietet die eigenthümliche Construction der Kabel. Ihre Seele besteht aus einem massiven Kupferdrathe von 3,4 mm Durchmesser. Dieselbe ist mit Jute umsponnen, die mit einer harzigen Masse (Patent Siemens & Halske) durchtränkt, dann mit einem Bleimantel umpresst und schliesslich nochmals mit getheerter Jute umsponnen ist. Zum Schutze gegen Verletzung bei Aufgrabungen sind die Kabel mit Backsteinen belegt. Die Kabel sollen sich durch hohe Isolation, ihre Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und Temperatur-Einflüsse und besonders auch durch ihre im Vergleich zu Kabeln mit Guttapercha-Umhüllung grosse Billigkeit auszeichnen.

Das Gewicht der dynamoëlektrischen Maschinen beträgt je 800 K., der Gesammtleitungswiderstand ihrer Wickelung 14,3 SE. Sie liefern einen Strom von 11 Ampère bei einer Klemmenspannungsdifferenz von ungefähr 650 Volt und einer elektromotorischen Kraft von 800 Volt. Die Länge der 3 Stromkreise beträgt 1974, 1887 und 1480 m, ihr Widerstand 2,25 SE pro Kilometer. Die Kohlenstäbe in den Lampen haben einen Durchmesser von 11 mm, der Consum beträgt 53 mm in der Stunde, oder mit Einrechnung der Abfälle in Geld ausgedrückt 7 Pf. Die Brenndauer eines Kohlenpaares beträgt 9 Stunden; eine grössere Brenndauer war nicht erforderlich, da die Lampen nur bis Mitternacht brennend erhalten werden sollten. Der Widerstand eines Lichtbogens

ist ungefähr gleich 4,5 Einheiten, die Leuchtkraft durch die matten Glasscheiben, mit denen die Laternen armirt sind, hindurch und unter einem Neigungswinkel von 30^0 zur Horizontalen gemessen 880 Normalkerzen.

Der Gasverbrauch, welcher durch mächtige Gasuhren amtlich controlirt wird, beträgt für einen Motor, also für je 12 Lampen einschliesslich der 7 zur Erleuchtung des Maschinenhauses verwendeten Gasflammen, durchschnittlich 11,5 cbm pro Stunde. Als Kostenpreis des verbrauchten Gases waren $13^1/_3$ Pfennig pro Cubikmeter vereinbart worden, d. h. derjenige Preis, welchen die Stadt Berlin für ihre städtische Beleuchtung sich selbst in Rechnung setzt, resp. an die Hauptkasse der städtischen Gasanstalten selbst zurückvergütet.

Es war beabsichtigt, die ganze Beleuchtungsanlage, deren technischen Betrieb Siemens & Halske übernehmen sollten, zunächst nur für ein Versuchsjahr auszuführen mit dem Vorbehalt, dass es nach Ablauf des Jahres der Stadtverwaltung frei stehen sollte, die ganze Anlage für einen fest abgemachten Preis zu übernehmen oder deren Abbau und Wiederentfernung anzuordnen. Die für die Anlage und den Betrieb von der Stadt zu zahlenden Posten sollten dem Abkommen gemäss betragen:

entweder: 44 500 M. für Aufbau und Wiederentfernung der ganzen Anlage nach einjährigem Betriebe und 26 040 Mark für letzteren,

oder: 84 000 Mark als Kaufpreis der ganzen Anlage und 26 040 Mark für den einjährigen Betrieb.

Die nach Ablauf des ersten Betriebsjahres (20. September 1882 bis 20. September 1883) von v. Hefner-Alteneck veröffentlichten[3]) Betriebskosten der Gesammtbeleuchtung, für deren detaillirte Mittheilung man der Firma Siemens & Halske zu Dank verpflichtet ist, stellen sich wie folgt:

---

[3]) El. Z. V. p. 60, 1884.

	Mark	Mark
1. **Betriebskraft**		
Gasverbrauch incl. Beleuchtung des Maschinenhauses	10156,17	
Wasserverbrauch	1654	
Schmiermaterial u. dgl.		
Schmieröl . . . . . 1872,32 M.		
Petroleum . . . . . 23,32 „		
Talg und Seife . . . . 12,56 „		
Putztücher und Putzwolle 184,58 „		
Schmirgelpapier u. s. w. . 3,46 „		
	2096,24	
		13906,41
2. **Kohlenspitzen** (Ausgangspreise)		
3118 m D_{02} Kohlen à 1,15 M.	3585,70	
1641 m homogene N. Kohlen à 1,15 M. .	1887,15	
		5472,85
3. **Reparaturen** (Selbstkosten)		
eine Anker-Reparatur	263,95	
ein Lager-Ersatz	29,92	
Ersatz der Commutator-Schleifbleche . .	57,60	
eine Bürstenträger-Reparatur	7,20	
Gasleitungen-Reparatur	25,02	
Riemen- und Peesen-Reparatur	7,50	
Laternenscheiben-Ersatz	21,90	
Differential-Lampen-Reparatur	9,90	
Reparatur gewaltsamer Kabelverletzungen .	101,08	
diverse Reparaturen u. s. w.	16,34	
		540,41
4. **Bedienung**		
gezahlte Arbeitslöhne für 1 Maschinisten und 2 Arbeiter		3836,34
5. **Unkosten**		
Miethe für den Platz des Maschinenhauses	300	
Feuerversicherung	91	
Entschädigungen für Ueberstunden etc. .	300	
Fütterung eines Hofhundes	90	
		781
	Summa	24537,01

Aus der angegebenen Summe der Betriebskosten (24537,01 M.) würden sich, da die Beleuchtung sich auf 1900,5 Brennstunden er-

streckte, und da die Anlage aus 36 Lampen bestand[4]), als Betriebskosten pro Lampe und Brennstunde fast genau 36 Pf. ergeben. Indess werden sich diese Kosten bei Anwendung von Dampfmaschinen- an Stelle des Gasmotoren-Betriebes wesentlich niedriger stellen. Da für jedes elektrische Licht ziemlich genau 1 Pferdestärke erforderlich war, so ergeben sich rund 20 Pf. als Ausgabe für die Erzeugung einer Pferdekraft, ungerechnet die Bedienung der Motoren, aber eingerechnet den Verbrauch an Schmiermaterial für die Lager der dynamoëlektrischen Maschinen. Bei Anwendung guter stationärer Dampfmaschinen und vielleicht auch grösserer Sparsamkeit beim Betriebe würde sich dieser Preis nach Hrn. v. Hefner's Meinung indess wohl bis auf 5 Pf. (statt 20 Pf.) pro Pferdekraft herabmindern lassen. Aus diesem Grunde ist denn auch für ein zweites Versuchsjahr, für das wieder die Summe von 26040 M.[5]) von der Stadt Berlin an Siemens & Halske gezahlt werden soll, an Stelle der bisher verwendeten Gasmotoren eine 36-pferdige Locomobile aufgestellt worden; man hofft durch die hieraus erwachsende Ersparung bei dem Betriebe für die sehr beträchtlichen Ausgaben, die durch diese Aenderungen der Lichtanlage eingetreten sind, entschädigt zu werden und auf eine Ersparniss von 8000 bis 9000 M. gegenüber dem ersten Versuchsjahr rechnen zu dürfen, obwohl die gegenwärtige maschinelle Einrichtung mit der Locomobile und der ganze Betrieb noch lange nicht als ökonomisch bezeichnet werden könne. Die oben mitgetheilten Zahlendaten sind daher auch durchaus nicht als die Kosten des elektrischen Lichtes als solches, sondern eben nur als die des elektrischen Lichtes in der Leipziger Strasse bei Anwendung von Gasmotoren resp. einer Locomobile anzusehen.

Die jetzige Anlage hat gegenüber der vorjährigen mit 3 Gasmotoren den Nachtheil, dass nun alle 4 dynamoëlektrischen Maschinen direct von der Dampfmaschinenwelle aus getrieben werden; das Warmlaufen eines Lagers oder ein sonstiger Unfall könnte also den Stillstand der ganzen Anlage zur Folge haben.

---

[4]) In Summa also 68418 Lampen-Brennstunden.

[5]) Entschädigungen für den Umbau und die Amortisation, Verzinsung u. s. w. des Werthes der neuen Maschinen erhalten Siemens & Halske nicht.

Die in obiger Tabelle (p. 286) von v. Hefner mitgetheilten Betriebskosten der elektrischen Lichtanlage auf der Leipziger Strasse würden um den Fabrikationsgewinn an den Dochtkohlen, welche von Gebr. Siemens & Co. in Charlottenburg bezogen werden, zu vermindern sein, würden aber dann die reinen Betriebs-Selbstkosten bei Verwendung von Gasmotoren, allerdings aber ohne Amortisation des Werthes der Anlage darstellen. Bei Berücksichtigung dieses letzteren Punktes würden sich natürlich die Kosten pro Lampe und Brennstunde höher und beispielsweise bei Annahme von 10% für Verzinsung und Amortisation des zu 84 000 M.[6]) gerechneten Anlagecapitals unter sonst gleichen Voraussetzungen wie oben um etwa 12 Pf. höher stellen; immerhin aber zeigen die auf Seite 286 mitgetheilten Zahlen, dass die reinen Betriebskosten des ersten Versuchsjahres auch einschliesslich des Fabrikationsgewinnes an den Kohlenstäben sich noch etwas geringer stellen, als die von der Stadtverwaltung an Siemens & Halske für den Betrieb gewährte Summe von 26 040 M., so dass diese Summe also sogar auch trotz der unökonomischen Betriebsweise schon im ersten Jahre einen Theil der Amortisationskosten mit decken würde.

Die Betriebssicherheit der ganzen Beleuchtungsanlage war auch bei Anwendung der Gasmotoren im ersten Versuchsjahre eine durchaus zufriedenstellende gewesen; sowohl die Maschinen, wie Lampen und Kabelleitungen haben sich ganz ausgezeichnet bewährt, das erzeugte Licht ist vollkommen ruhig und gleichmässig, und übertrifft weit das der amerikanischen Systeme, von denen nur das Thomson-Houston'sche ähnlich gut brennende Bogenlicht-Lampen besitzt.

Das einzige, was man aussetzen könnte, ist, dass die Beleuchtung — wie das auch Hr. Cuno[7]), Director des städtischen Erleuchtungswesens in Berlin, betont — das Bedürfniss weit überschreitet; die überaus grosse Lichtstärke der elektrischen Bogenlicht-Lampen muss eben wohl oder übel mit in den Kauf genommen werden. Dementsprechend sind denn auch die Kosten, welche die jetzige elektrische Beleuchtung verursacht, im Vergleich zu denen der früheren Gasbeleuchtung ausserordentlich hoch. Hr. Cuno

---

[6]) Vgl. p. 285.

[7]) Journal f. Gasbel. etc. von Schilling u. Bunte, XXV. Jahrg. p. 771, 1882.

giebt an, dass vordem dieselbe Strecke der Leipziger-Strasse und der Potsdamer Platz durch 114 Gaslaternen beleuchtet gewesen seien, und dass die Kosten für dieselben bei einer Brennzeit bis gleichfalls 12 Uhr Nachts im Jahr nur 5632 M. betragen hätten.

Von besonderem Interesse sind ausserdem die Mittheilungen, welche Hr. Cuno[8]) über das Verhältniss der Kosten der früheren und der jetzigen sog. verstärkten Gasbeleuchtungen mittels der Siemens'schen Regenerativ-, der Bray- und der Lacarrière'schen macht, und welche wir hier wiedergeben wollen.

1. In dem östlichen Theile der Leipziger-Strasse, von der Friedrich- bis zur Commandanten-Strasse, in einer Länge von ca. 600 m sind auf die vorhandenen 54 gewöhnlichen Candelaber Fritz Siemens'sche Regenerativbrenner No. 2 aufgesetzt worden. Diese Brenner haben einen stündlichen Gasverbrauch von 750—800 Liter und eine Leuchtkraft von 135—150 Normal-Kerzen und brennen sämmtlich mit dem angegebenen Consum bis Mitternacht, d. h. nach der Berliner Beleuchtungstabelle $1900\frac{1}{2}$ Stunde jährlich, während von Mitternacht ab 19 Laternen ganz gelöscht, und die übrigen 35 Brenner auf einen stündlichen Consum von 400 l eingestellt werden; die Brennzeit nach Mitternacht beträgt pro Jahr $1774\frac{1}{2}$ Stunden.

Die Kosten der zuvor erwähnten Beleuchtung bis Mitternacht berechnen sich pro Jahr auf

	$54 \cdot 1900\frac{1}{2} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}13\frac{1}{3}$[9]) M.	= 10950 M.
und nach Mitternacht zu	$+ 35 \cdot 1774\frac{1}{2} \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}13\frac{1}{3}$	„ = 3312 „
	so dass die Gesammtsumme ist:	14267 M.

während die früher vorhanden gewesenen 54 gewöhnlichen Strassenbrenner bei einem stündlichen Consum von 195 l und einer Brennzeit von 3675 Stunden pro Jahr

$$54 \cdot 0{,}195 \cdot 3675 \cdot 0{,}13\tfrac{1}{3}\ \text{M.} = 5160\ \text{M.}$$

gekostet haben.

2. In der Friedrich-Strasse nördlich von der Leipziger-Strasse bis zur Jäger-Strasse (ca. 390 m) sind auf 32 vorhandene Candelaber je 3 Bray-Brenner in einer Laterne ange-

[8]) a. a. O. p. 772—773.

[9]) Preis von 1 cbm Gas für städtische Beleuchtungen = $13\frac{1}{3}$ Pf.

bracht, welche einen stündlichen Consum von 1200 l und eine Leuchtkraft von 110 Kerzen haben. Diese Flammen brennen gleichfalls bis 12 Uhr Nachts, während dieselben um Mitternacht durch einfache Hahnstellung gelöscht werden, und gleichzeitig ein gewöhnlicher Strassenbrenner entzündet wird. Die Candelaber stehen einander gegenüber. Früher brannten auf denselben Ständern 32 grosse Strassenbrenner die ganze Nacht hindurch.

Die Kosten der jetzigen Beleuchtung bis Mitternacht betragen

$$32 \,.\, 1{,}2 \,.\, 1900\tfrac{1}{2} \,.\, 0{,}13\tfrac{1}{3}\ \text{M.} = 9730\ \text{M.},$$

während die frühere Beleuchtung nur

$$32 \,.\, 0{,}195 \,.\, 1900\tfrac{1}{2} \,.\, 0{,}13\tfrac{1}{3}\ \text{M.} = 1581\ \text{M.}$$

gekostet hatte.

3. In der Friedrich-Strasse von der Leipziger-Strasse südlich bis zur Kochstrasse auf einer Länge von ca. 400 m sind auf 30 Candelaber, nach Analogie der Lacarrière'schen Brenner je 6 grosse Strassenbrenner in einem Kranze mit darunter gesetzter Glasschale angebracht; jeder Brenner ist auf 195 l Gasconsum pro Stunde mittels eines Einsatzbrenners und einer Stellschraube eingestellt. Die Leuchtkraft dieser 6 Brenner beträgt 105 Kerzen. Dieselben brennen bis Mitternacht, und es wird dann auch wieder nur ein in der Mitte des Kranzes befindlicher grosser Strassenbrenner entzündet. Früher brannten hier 30 grosse Strassenbrenner die ganze Nacht hindurch.

Die Kosten der Beleuchtung bis Mitternacht berechnen sich daher auf

$$30 \,.\, 6 \,.\, 0{,}195 \,.\, 1900\tfrac{1}{2} \,.\, 0{,}13\tfrac{1}{3}\ \text{M.} = 8894\ \text{M.},$$

während dieselben früher für die erwähnten 30 grossen Schnittbrenner bis Mitternacht nur 1482 M. betragen haben.

Will man hiernach einen Vergleich der Kosten dieser drei Gasbeleuchtungen mit denen der Siemens & Halske'schen Bogenlicht-Anlage der Leipziger-Strasse anstellen, so hat man zu berücksichtigen, dass die Gasflammen 3 Mal so dicht stehen, wie die elektrischen. Nimmt man nun die von einer elektrischen Laterne, bezüglich von 3 Gaslaternen beleuchtete Grundfläche als Einheit, unter Zugrundelegung des Gaspreises von $13\frac{1}{3}$ Pf. für 1 cbm, so kostet die Beleuchtung dieser Fläche pro Stunde

mit Regenerativ-Brennern . . . . 32 Pf.
„ Lacarrière'schen Brennern . . . . . . 48 „
„ Bray-Brennern . . . . 48 „
„ den elektrisch. Bogenlichtern der Leipziger-Strasse und des Potsdamer Platzes . 38 „ [10])

Die auf gleiche Bodenfläche entfallende Lichtstärke beträgt ausserdem bei den Gasbeleuchtungen beziehungsweise 405, 330, 315 Normal-Kerzen, bei den elektrischen nahezu 880. Die elektrische Beleuchtung würde danach ungefähr $2\frac{1}{2}$ Mal so hell sein als die der anstossenden, verstärkten Gasbeleuchtungen.

[10]) Gemäss dem auf pag. 285 erwähnten Abkommen mit der Stadt Berlin.

Anhang.

Die Gefahren der elektrischen Beleuchtung.

§ 90. Gefahren für Menschenleben.

Eine Anzahl von Unglücks- resp. von Todesfällen, welche sich ereigneten als Folge der Anwendung von hochgespannten Strömen, die zum gleichzeitigen Betriebe einer grösseren Anzahl von elektrischen, in einem und demselben Stromkreise hintereinander geschalteten Bogenlichtlampen erforderlich sind, haben die Lebensgefährlichkeit derartiger Ströme hinlänglich bewiesen. Am weitesten gehen hierin die Brush- und nach deren Vorbild die Thomson-Houston-Companie, welche häufig genug Ströme von 2000 bis 2500 Volt Spannung zur Hintereinanderschaltung von 40 bis 50 Bogenlichtlampen verwenden. So ökonomisch derartige Lichtanlagen nun aber auch sein mögen, so verdienen sie doch eben der hohen, mit ihnen verbundenen Lebensgefährlichkeit wegen durchaus keine Billigung, da ein unvorsichtiges Berühren der Hin- oder Rückleitung, der Polklemmen der Lampe oder Maschine sofort den Tod herbeiführen kann. Sir William Thomson empfiehlt daher höchstens 200 Volt Spannung für gleichgerichtete und höchstens 100 Volt für Wechselströme anzuwenden, und es sind dies auch die in England durch Parlamentsacte neuerdings festgesetzten Bestimmungen betreffs der zum elektrischen Lichtbetrieb zu verwendenden Ströme. Indess dürften diese als obere Gränzen gewählten Werthe denn doch wohl erheblich niedriger sein, als sich mit vollkommen ausreichender Sicherheit vereinigen lässt; jedenfalls zeigen wenigstens Mr. Weston's

Erfahrungen[1]) dass man ohne erhebliche Gefahr Ströme bis zu 1000 Volt Spannung verwenden kann, und, wenngleich auch die beim Berühren von Theilen der Leitung oder der Maschine in solchem Falle erhaltenen Schläge bereits äusserst empfindlich sind, so ist doch in der relativ langen Zeit, seit welcher Weston'sche Lichtmaschinen in Gebrauch sind, nie ein Todesfall durch die von ihnen gelieferten Ströme zu beklagen gewesen. In jedem Falle aber sollten einigermaassen hoch gespannte Wechselströme, die ungleich viel lebensgefährlicher sind als gleichgerichtete Ströme, durchaus verboten sein. Man wird gut thun, bei letzteren die Spannung 600—800, bei ersteren 300 Volt nicht überschreiten zu lassen. Am besten wird es jedenfalls sein, eine Anzahl von hintereinander geschalteten Bogenlichtlampen gruppenweise in Parallelschaltung zu verwenden, es würde dadurch jeglicher Lebensgefahr leicht vorgebeugt, und trotzdem in einem Stromkreise eine grosse Anzahl von Bogenlichtlampen in Betrieb erhalten werden können.

Uebrigens steht der durch elektrische Ströme hervorgebrachte Schaden und Verlust an Menschenleben in keinerlei Beziehung zu dem eventuellen Schaden an Eigenthum. Die Wirkungen der elektrischen Ströme unterscheiden sich eben je nach der betreffenden Menge und der Spannung der Elektricität; erstere (Ströme grosser Quantität) bedingen durch ihre beträchtlichen Heizeffecte Gefahren für entstehende Feuerschäden, letztere (Ströme von hoher Spannung) hingegen die Gefahren für Menschenleben. Die Lebensgefährlichkeit elektrischer Ströme wäre daher der Spannung, die Feuersgefahr der Stromstärke proportional.

§ 91. Feuergefährlichkeit resp. Feuersicherheit der elektrischen Beleuchtung.

Während man beim ersten Gebrauch des elektrischen Stromes zu Beleuchtungszwecken Unglücksfälle und Feuerschäden für völlig unmöglich hielt, so schlug die Meinung des Publicums bald in die entgegengesetzte um, als einige Brände in Folge von Elektricität zweifellos constatirt waren. Mr. Woodbury hat in seinem inter-

---

[1]) Vgl. p. 240, er verwendet Ströme von 25 Volt Spannung pro Lampe und 16 Ampère Stromstärke.

essanten Werkchen „über die Vermeidung von Feuern in Fabriken"[1]) eine Statistik über derartig entstandene Feuer gegeben: Er theilt mit, dass in 61, bei der gegenseitigen Feuer-Versicherungs Companie in Boston[2]) versicherten, durch elektrisches Licht beleuchteten, grossen Fabriken 25 Feuer in Folge eben dieses Lichtes vorgekommen seien. Zehn davon hatten als Grund das Herabfallen von glühenden Kohle- oder Kupfertheilchen aus unten nicht geschlossenen Lampen. Es dürfte jedoch, wie Woodbury vermuthet, die Zahl der aus dieser Ursache entstandenen Feuer, die indess sofort gelöscht und deshalb nicht zur Kenntniss gebracht worden sind, noch 10 mal grösser gewesen sein. Um dergleichen zu verhindern, müssen die Glocken unten durch Schalen geschlossen sein.

Fünf Feuer kamen dadurch zu Stande, dass Feuchtigkeit Anlass zu Nebenschlüssen zwischen den Leitungsdräthen geboten und sich dann dort ein Lichtbogen gebildet hatte; drei waren durch feucht gewordenen Staub verursacht, der sich auf den Zuleitungen aufgehäuft hatte, zwei andere durch Condensation von Wasser an der Holzdecke einer Färberei zwischen den Leitungsdräthen. Ferner entstanden drei andere Feuer wiederum dadurch, dass die beiden ausgespannten Leitungsdräthe sich dehnten, dabei mit einem darunter fortlaufenden Metallrohr in Contact kamen und so Anlass zur Bildung eines Lichtbogens gaben. Einen ähnlichen Grund hatte ein Feuer, das durch Dräthe veranlasst wurde, die durch einen feuchten Tunnel hindurchgingen, und zwischen denen sich ein Nebenschluss-Lichtbogen bildete.

Mr. Woodbury hält indess dafür, dass sich alle diese Feuer hätten vermeiden lassen, da sie sämmtlich auf Nichtbeachtung altbekannter Vorsichtsmaassregeln beruhen, und er glaubt, dass jede andere Art künstlicher Beleuchtung gefährlicher sei, als die elektrische.

Je höher die Spannung der verwendeten Ströme, um so näherliegend die Gefahr eines Ueberganges der Elektricität auf schlechtere Leiter; und ausserdem um so grösser, je grösser die Stromstärke. Diese letztere ist bei Bogenlichtanlagen im Allgemeinen immer nur gering (10—15 Ampère), während in Glühlichtanlagen, bei einer grossen Anzahl einander parallel geschalteter Lampen, die von den Leitungen

[1]) C. J. H. Woodbury, Fire Protection in Mills, Lynn 1882.

[2]) Woodbury ist Inspector obiger Co.

fortzuführenden Mengen Strom ganz ausserordentlich viel grösser sind, so dass also hier eigentlich noch weit eher Gelegenheit zu Feuern gegeben wäre. Aus diesem Grunde hat man denn auch nicht die ganze Sicherheit in die Isolation der Leitungen allein, sondern zum Theil auch in die von uns früher ausführlich besprochenen Bleisicherungs-Dräthe[3]) gelegt; erst durch sie gewinnen die Glühlicht-Anlagen einen so ausnehmend hohen Grad der Feuersicherheit, der sie unter Anderem auch besonders für die Verwendung in Theatern vorwiegend geeignet macht.

Die Statistik über die Ursachen der Theaterbrände zeigt, dass die bei weitem grösste Zahl derselben die Folge von offenen oder schlecht geschützten Gasflammen war. Die mit dem Anzünden derselben verbundene Gefahr ist hier ausserordentlich gross und zwar auch dann, wenn elektrische Zündvorrichtungen eingeführt sind. Das Versagen der Zündung einer einzelnen Flamme kann eben sofort die Ursache einer Explosion und eines ausbrechenden Feuers werden, und selbst, wenn letzteres ohne alle Bedeutung sein sollte, wie leicht bricht nicht gerade in Folge der furchtbaren, noch jüngst eingetretenen Unglücksfälle in Wien etc. eine Panik unter den Zuschauern aus, die geeignet ist, da Unglück zu schaffen, wo ein solches an sich vielleicht von vornherein ausgeschlossen gewesen wäre! Allerdings hat man demgegenüber die grössere Betriebssicherheit des Gaslichtes als Gegengrund angeführt, aber dort verwenden wir doch bekanntlich auch Oellampen als doppelte Sicherung für den Fall etwaigen Versagens oder event. eintretenden Feuers, nach dessen Ausbruch der Haupthahn der Gasleitung abgestellt und die Gasbeleuchtung, um sonst mögliche Explosionen zu verhindern, sofort ausgelöscht werden muss, ein Umstand, welcher doch eigentlich als ein Hauptgrund gegen die Anwendung von Gas in Theatern angesehen werden müsste.

Eine derartige, wie die zuvor erwähnte Nothbeleuchtung wäre übrigens der grösseren, damit verbundenen Sicherheit wegen unbedingt auch neben der elektrischen Glühlichtbeleuchtung beizubehalten und würde zweckmässig auch elektrisch gewählt werden können, um so mehr, als letztere Beleuchtungsart bei um sich greifendem Feuer (wie die Edison-Gesellschaft sehr richtig in ihrer

---

[3]) Vgl. § 32 p. 78.

bereits citirten Publication über das Edison-Glühlicht und dessen Bedeutung für Hygiene und Rettungswesen hervorhebt) nur in der Ausdehnung versagen würde, wie das Feuer selbst um sich greift.

Das Entzünden, das Brennen und die Regulirung der Lichtstärke der Glühlampen auf der Bühne und im Zuschauerraum kann nach dem, was wir früher auseinandergesetzt haben, ohne alle Schwierigkeit und vollkommen sicher bewirkt werden. Die Versatzstücke auf der Bühne, welche im Falle der Gaslichtbeleuchtung stets einen der feuergefährlichsten Theile des complicirten Bühnenmechanismus bilden, bringen bei Anwendung von Glühlicht keine Spur neuer Gefahr hinzu.

Nach alledem kann für Theaterbeleuchtung die Anwendung elektrischen Glühlichtes nicht dringend genug empfohlen werden, immer vorausgesetzt, dass dieselbe von sachkundigen Leuten ausgeführt wird, und dass in ausgiebiger, zweckentsprechender Weise in die Leitung „Sicherheitsbleidräthe“ eingeschaltet werden, auf deren Anwendung hauptsächlich die Feuersicherheit der Glühlichtanlagen beruht. Lässt man dieselben fort, so ist Gefahr geboten, dass bei einer durch irgend welche Zufälle eintretenden, directen Berührung resp. metallischen Verbindung der Kupferzuleitungen diese sich bis zu einer Temperatur erhitzen, die feuergefährlich für die leicht brennbaren in der Nähe befindlichen Stoffe etc. werden könnte. Die Glühlampen an sich aber bedingen durchaus keinen Grund für Feuersgefahr; in demselben Moment, in welchen sie etwa zerbrechen, und Luft in sie eindringt, ist auch schon die dünne Kohlenfaser fortgebrannt und zwar innerhalb einer so kurzen Zeit, dass die Umgebung dadurch nie Feuer fangen kann. Hat man doch selbst über einem mit Schiesspulver gefüllten Becken Glühlampen oder auch Lampen, die in Baumwolleflocken eingehüllt waren, zertrümmert, ohne dass das Pulver resp. die Baumwolle entzündet worden wäre.

Uebrigens spricht sich auch Werner Siemens in einem im Centralblatt für Textil-Industrie veröffentlichten Gutachten bezüglich der Frage der Feuersicherheit der elektrischen Glühlichtbeleuchtung sehr günstig aus. Er sagt:

„Die Gasbeleuchtung bleibt auch bei sorgfältigster Anlage stets in hohem Grade feuergefährlich — ganz abgesehen von der directen Lebensgefahr, — denn jeder offengelassene oder undicht gewordene

Gashahn kann eine lebens- und feuergefährliche Explosion hervorbringen. Dasselbe gilt von undicht gewordenen Rohrleitungen. Dagegen ist eine solide und sachgemäss angelegte elektrische Beleuchtung fast gänzlich ungefährlich. . . . In Räumen, in welchen viele brennbare Fäden oder sonstige Stoffe umherfliegen, oder in welche brennbare Dämpfe eindringen können, wird ein Sachverständiger keine offenen Flammen — seien es Gas-, Petroleum- oder elektrische Flammen anbringen. Für solche Räume eignen sich besser die Glühlichter. Bei diesen ist die Feuersgefahr bei richtiger Anlage wirklich beinahe verschwindend klein, da der leuchtende Körper hermetisch in eine Glasglocke eingeschlossen ist. In Räumen, in welchen brennbare Stoffe mit den Wänden der Glaskugel in Berührung kommen können, kann man ausserdem Doppelglocken anwenden, um eine Entzündung an den heissen Wänden der Glaskugeln zu verhindern. Bei einer nicht mit Sachkenntniss und nicht mit grösster Solidität ausgeführten Glühlichtanlage kann allerdings eine Gefahr dadurch eintreten, dass die Leitungen nicht richtig berechnet sind und sich erhitzen, oder dass sie nicht sicher eingebettet und befestigt, oder schlecht isolirt sind. Endlich auch dadurch, dass nicht genügende Sicherheitsvorrichtungen angebracht sind, die verhindern, dass der elektrische Strom stärker werden kann, als es die Dräthe vertragen. In allen diesen Fällen kann es vorkommen, dass Dräthe sich in gefährlicher Weise erhitzen oder durch zufällige Berührung zweier Dräthe an der Berührungsstelle elektrische Flammen sich bilden, welche zünden können. Das Alles darf bei einer gut und mit Sachverständniss gemachten Anlage aber gar nicht vorkommen, so wenig wie es vorkommen darf, dass Gasleitungen undicht oder dem Zerbrechen etc. ausgesetzt sind. So richtig es demnach ist, dass schlecht angelegte elektrische Beleuchtungseinrichtungen feuergefährlich sein können, so unrichtig ist es, das System der elektrischen Beleuchtung überhaupt für feuergefährlich oder gar für feuergefährlicher als die Gasbeleuchtung zu erklären!“[4])

---

[4]) Vergl. auch die beiden Veröffentlichungen der Deutschen Edison-Gesellschaft: I Das Edison-Glühlicht und seine Bedeutung für Hygiene- und Rettungswesen, 1883; und II Elektrische Beleuchtung von Theatern mit Edison-Glühlicht 1884 (bei J. Springer).

§ 92. Vorschriften der Vereinigung der Feuer-Versicherungs-Gesellschaften in Boston.

Zum Schluss möge hier noch das Regulativ Platz finden, welches Mr. Woodbury für die Vereinigung der Feuer-Versicherungs Gesellschaften in Boston auf Grund der in seiner Praxis als Jnspector einer jener Gesellschaften gewonnenen Erfahrungen ausgearbeitet hat, und auf welches wir bereits im §. 76 (pag. 234) hinzuweisen Gelegenheit hatten. Aehnliche Vorschriften wie die nachstehend mitgetheilten haben auch die Versicherungs-Gesellschaften anderer Städte acceptirt.

Dieselben lauten:

I. Leitungen.

„Drathleitungen, welche über Gebäude hinfort geführt sind, müssen von deren Dächern 2 m. Abstand haben und ausserdem hinreichend hoch sein, um beim Anlegen der Feuerleitern nicht hindern zu können.

„Ueberall, wo sich die Leitungen für elektrisches Licht in der Nähe anderer Leitungs-Dräthe befinden, müssen Schutzdräthe zwischen sie gezogen werden, welche ein gegenseitiges Berühren im Falle der Beschädigung der einen oder der anderen Leitungsdräthe resp. deren Träger verhindern. Die Befestigung hat an isolirten Haltern zu geschehen, die Dräthe selbst müssen mit einer haltbaren, isolirenden und Wasser undurchlässigen Umspinnung versehen sein. Ueberall, wo die Leitungen durch Mauerwerk, Dächer, Fussböden oder Verschläge hindurchzuführen sind, oder an Stellen wo Gefahr für Zerstörung oder Abreiben der Drathumspinnung vorliegt, muss die letztere durch Einhüllen der Dräthe mit Leder, Guttapercha, durch Durchführen der Dräthe durch Thonrohre oder dergl. geschützt werden. Leitungen, die in Gebäude hineinführen, müssen derartig eingehüllt sein, dass ein Eindringen von Wasser in die Rohre, durch die sie geführt sind, unmöglich ist.

„Im Innern der Gebäude müssen Drathschleifen thunlichst vermieden, und die isolirenden Träger so angebracht sein, dass die Leitungsdräthe nicht das Mauerwerk des Gebäudes berühren.

„Drathverbindungen müssen sorgfälltig ausgeführt und fest zusammengewickelt sein; ein Zusammenlöthen der zu verbindenden Stellen ist zu empfehlen, indess nicht unbedingt erforderlich. Drathleitungen für Bogenlicht-Betrieb müssen mindestens 30 cm Abstand von einander haben; bei Glühlicht-Anlagen sollen die Hauptleitungsträger nicht näher als in 6 cm Abstand von einander geführt werden.

Ein Führen der Dräthe übereinander ist sorgfältig zu vermeiden, da anderenfalls Nebenschlüsse durch herabrinnendes Wasser entstehen können.

Ein Ausschalter zur Benutzung für die Feuerwehr oder die Polizei hat in jedem Gebäude an einem geschützten, leicht zugänglichen Orte angebracht zu werden.

II. Lampen.

„Die Gestelle oder sonstigen leicht der Berührung ausgesetzten Theile der Bogenlichtlampen müssen isolirt sein und dürfen in keinerlei Verbindung mit den Stromleitungen selbst stehn. Jede Lampe muss eine besondere, von der Hand zu stellende Ausschalte- und ausserdem eine automatische Contact-Vorrichtung haben, welche letztere die Lampe in sich kurz schliesst und so zum Verlöschen bringt, sobald etwa die Kohlenstifte einander nicht mehr berühren, oder sobald der Lichtbogen eine abnorm grosse Länge aus irgend welchem Grunde annimmt. Die Möglichkeit des Herabfallens der unteren Kohle, für den Fall, dass selbige von ihrer Klemme nicht mehr fest gehalten wird, muss durch eine geeignete Vorrichtung ausgeschlossen sein.

„Alle für Innenbeleuchtungen von Gebäuden zur Verwendung kommenden Bogenlichtlampen müssen mit Glasglocken versehen sein, die unten auf einer Schale aufstehen, welche ein Herabfallen glühender Kohlen-, resp. geschmolzener Metalltheile aus der Lampe verhindert; und für den Fall, dass die Lampen sich in der Nähe von leicht entzündlichen Stoffen befinden, dürfen nur Glasglocken, die mit einem Drathnetz umstrickt sind, verwendet werden. Zerbrochene oder zersprungene Glasglocken sind sofort durch neue zu ersetzen. Falls nicht ganz besonders hohe Glasglocken, welche den Lichtbogen oben soweit als irgend möglich einschliessen, angewendet werden, sind die Glocken durch einen Deckel zu schliessen.

„Die Zuleitungsdräthe der Glühlampen müssen an den Eintrittsstellen jedes Gebäudes resp. jedes grösseren Seitenzweiges mit einer automatischen Ausschalte-Vorrichtung oder dergl. (Bleischaltung) versehen sein, die geeignet ist ein Anwachsen der Stromstärke über ein bestimmtes Maass zu verhindern. Die dünnen Zuleitungsdräthe zu den Glühlampen selbst müssen zuverlässig isolirt sein. Ausser Contact gekommene resp. zerrissene Dräthe dürfen nur dann wieder vereinigt werden, wenn kein Strom in den Hauptleitungen circulirt.

III. Dynamo-Maschinen.

„Die Dynamo-Maschinen haben ihre Aufstellung an trockenen, durch Holzunterbau isolirten Orten zu erhalten, wo sie nicht dem Herumfliegen leicht entzündlichen Materials ausgesetzt sind. Sie müssen mit Apparaten

zum womöglich selbstthätigen Reguliren der Stromstärke versehen sein, andernfalls muss eine zuverlässige Person, die mit deren Wartung und Handhabung betraut ist, die Maschinen während deren Ganges stets unter Aufsicht haben.

„Zum Herstellen eines Theiles des Stromkreises der Maschinen dürfen unter keiner Bedingung die Gasleitungen des Hauses oder sog. Erdleitungen benutzt werden.

„Das ganze Zuleitungssystem muss vollkommen isolirt sein, und die Isolirung bezüglich etwaiger Erdverbindung muss Tag täglich geprüft werden. Diese Untersuchung hat hinreichend früh, bevor die Lichtanlage wieder in Betrieb gesetzt wird, zu geschehen, um etwaige Fehler dann noch ausbessern zu können.

Die Anwendung von Schleifcontacten zum Aus- und Einschalten der Lampen und Leitungen ist anzuempfehlen, da sich bei solchen keine Lichtbögen am Contact selbst bilden können; für starke Ströme müssen die Metalltheile der Contact-Vorrichtungen auf Unterlagen aus unverbrennlichem Material (Steinwaare, Glas, Schiefer, etc.) aufgeschraubt sein“.

Namen- und Sach-Register.

W.

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.


BOSTON PUBLIC LIBRARY
3 9999 04041 342 7

